www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

14e JAARGANG No. 1, blz. 1-32 JANUARI 1952

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

HOOGSPANNINGSGENERATOREN NODIG BIJ HET PROJECTEREN VAN GROTE TELEVISIEBEELDEN

door J. J. P. VALETON. 621.397.62:621.314.5:621.396.615.12.072.2

Voor het projecteren van een televisiebeeld dat groot en tevens scherp en lichtsterk is, heeft men op de weergeefbuis een hoge spanning nodig, bijv. 25 of 50 kV. De generator voor het opwekken van deze spanning moet voldoen aan enige bijzondere eisen. Dit heeft er toe geleid dat andere methodes van opwekking zijn ontwikkeld dan de methode die het meest voor de hand ligt en die bestaat in omhoogtransformeren van de netspanning en gelijkrichten. Een paar van deze methodes worden geschetst en één ervan uitvoerig behandeld.

De spanningen die men gebruikt om de electronen in een weergeefbuis voor televisie te versnellen, zijn in de loop der jaren steeds hoger geworden. Was bijv. in 1945 een spanning van 5 kV voor een directzichtbuis normaal, al spoedig is men overgegaan tot 7 en 9 kV. Thans gebruikt men 12 en 14 kV en men denkt er zelfs al over, te gaan werken met 16 of 17 kV.

Deze ontwikkeling naar hogere spanningen is een gevolg van de steeds hoger wordende eisen die men aan de helderheid, de scherpte en de afmetingen van televisiebeelden is gaan stellen. Wenst men namelijk een helderder beeld, dan moet de electronenbundel per tijdseenheid meer energie aan de fluorescerende stof van het scherm in de weergeefbuis toevoeren; men moet daartoe dus òf de stroomsterkte van de bundel, òf de versnelspanning, òf beide, vergroten. Een grotere stroomsterkte echter heeft een nadelige invloed op de scherpte, terwijl daarentegen een hogere spanning de focussering juist bevordert. Dit argument treedt vooral op de voorgrond wanneer men overgaat op buizen met een groter scherm en met een tevens zo klein mogelijk gehouden lengte. Daarbij komt men namelijk tot grote afbuigingshoeken, en om dan aan de randen van het beeld een nog voldoende scherpte te behouden, moet men werken met een zeer slanke electronenbundel. Deze is des te beter realiseerbaar naarmate men de stroomsterkte kleiner en de versnelspanning hoger kiest.

Het gebruik van een weergeefbuis met een groot fluorescerend scherm is niet de enige manier om beelden van flinke afmetingen te verkrijgen. Men kan ook op een kleine weergeefbuis een zeer helder en scherp beeld opwekken, en dit door middel van een lichtsterke optiek vergroot op een afzonderlijk scherm afbeelden. Deze methode is gevolgd in een door Philips ontwikkeld projectiesysteem, dat reeds in dit tijdschrift is beschreven [1]). Teneinde te voldoen aan de hoge eisen van helderheid en scherpte, werkt de hierbij gebruikte weergeefbuis, type MW 6-2 [2]), met een versnelspanning van 25 kV en een gemiddelde stroom van maximaal 200 μA. Het hiermee verkregen beeld op de weergeefbuis, met een middellijn van 6 cm, is scherp en helder genoeg om het optisch te vergroten tot een geprojecteerd beeld met een diagonaal van 50 cm.

Volgens hetzelfde systeem is de laatste jaren in het Philips-laboratorium te Eindhoven een projector geconstrueerd waarmee beelden van 3 m × 4 m kunnen worden verkregen. In deze projector wordt een weergeefbuis gebruikt die een scherm met een middellijn van 12 cm heeft. De stroom in deze buis is aanzienlijk groter dan in de buis MW 6-2. Om de bundel scherp genoeg te kunnen focusseren, bleek een versnelspanning van 50 kV gewenst te zijn.

---

[1]) Een televisie-ontvanger met geprojecteerd beeld, I. De projectie-optiek, door P. M. van Alphen en H. Rinia, Philips techn. T. **10**, 97-106, 1948.

[2]) Een televisie-ontvanger met geprojecteerd beeld, II. De kathodestraalbuis, door J. de Gier, Philips techn. T. **10**, 129-136, 1948.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Uit bovenstaande inleiding zal de reden van het streven naar hogere versnelspanningen duidelijk zijn geworden. Er zijn echter ook enige remmende factoren. Naarmate de snelheid van de electronen groter is, heeft men een groter vermogen nodig om de bundel over een bepaalde hoek af te buigen en vervalt men dus in een kostbaarder afbuigingsapparatuur. Bovendien wordt het met het verhogen van de versnelspanning moeilijker, weergeefbuizen te fabriceren die deze spanning kunnen verdragen, en generatoren te ontwerpen voor het opwekken van zulke hoge spanningen. Deze generatoren zijn het onderwerp van dit artikel.

Methodes voor hoogspanningsopwekking

Verschillende methodes die voor het opwekken van de hoogspanning voor televisie-ontvangers in aanmerking komen, zullen we nu de revue laten passeren.

Gelijkrichting van een wisselspanning met netfrequentie

In de eerste televisie-ontvangers werd de nodige gelijkspanning van 5 kV verkregen door gelijkrichting van een hoge wisselspanning, welke werd geleverd door een voedingstransformator die was aangesloten op het net.

Deze methode heeft diverse bezwaren. Om bij de lage frequentie van het net een gelijkgerichte spanning te verkrijgen waarvan de rimpel klein genoeg is, moet men afvlakcondensatoren van grote capaciteit gebruiken. Deze zijn kostbaar. Daarenboven levert hun grote energievoorraad gevaar op, aangezien schade zou kunnen worden aangericht wanneer ergens doorslag zou optreden. Een tweede nadeel van de lage frequentie is het grote aantal windingen dat men, wegens de lage geïnduceerde spanning per winding, op de voedingstransformator nodig heeft. Daardoor nemen de hoogspanningswikkeling en de voor hoge spanning geïsoleerde gloeistroomwikkeling voor de gelijkrichtbuis veel ruimte in.

Al spoedig heeft men dan ook bijna overal deze methode van hoogspanningsopwekking verlaten, toen men had ontdekt dat op vrij eenvoudige wijze een hoge spanning kan worden verkregen als „bijproduct" van de apparatuur voor de magnetische afbuiging van de electronenbundel.

Hoogspanning als bijproduct van de afbuigingsapparatuur

Vrij algemeen wordt de afbuiging van de electronenbundel in horizontale en in verticale richting bewerkstelligd door magnetische velden, die worden opgewekt door zaagtandvormige stromen welke door afbuigspoelen lopen. De snelle terugkeer van de schrijvende lichtstip van de rechterkant van het beeld (einde van een bepaalde lijn) naar de linkerkant (begin van de volgende lijn) is het gevolg van een sprong in de stroom die door de spoel voor de horizontale afbuiging loopt. Deze sprong veroorzaakt tevens een spanningspiek over de spoel, die wel meer dan tien maal zo hoog kan zijn als de spanning die tijdens het schrijven van een lijn over de spoel staat. Ter aanpassing van de spoel op de generator van de zaagtandstroom is tussen deze beide een transformator geplaatst, waarvan de primaire wikkeling is gedimensionneerd voor een hogere spanning dan de secundaire. Aan de primaire zijde kan de spanningspiek een waarde van bijv. 5 kV bereiken. Door deze wikkeling te voorzien van een verlengstuk (autotransformator) kan men gemakkelijk nog wat hogere spanningen verkrijgen en zo, na gelijkrichting, komen tot een gelijkspanning van omstreeks 8 kV. Toepassing van een gelijkrichtschakeling met spanningsverdubbeling (cascadeschakeling) levert de mogelijkheid, te gaan tot spanningen van 10 tot 14 kV.

Het grote voordeel van deze methode is gelegen in de hoge herhalingsfrequentie van de spanningspieken bij de horizontale afbuiging; bij bijv. 625 beeldlijnen en 25 volledige beelden per seconde bedraagt deze frequentie $625 \times 25 = 15\,625$ Hz. Kleine capaciteiten zijn dus al voldoende om de gelijkgerichte spanning af te vlakken [3]). De afvlakcondensatoren zijn dus niet kostbaar en leveren door hun betrekkelijk geringe energievoorraad weinig gevaar op.

Deze methode is vooral op haar plaats indien het vermogen dat voor het versnellen van de electronen nodig is, klein is in vergelijking met het blinde vermogen dat het afbuigen vereist, dus zolang het eerstgenoemde terecht nog kan worden gekwalificeerd als een bijproduct van de afbuigingsapparatuur. Dit nu is bij weergeefbuizen voor direct zicht inderdaad het geval. Bij deze buizen wordt de bedoelde methode tegenwoordig dan ook alom toegepast.

Gelijkrichting van afzonderlijk opgewekte impulsen

Anders is het bij weergeefbuizen voor projectie. Het vermogen dat in deze buizen voor versnelling nodig is, is niet klein ten opzichte van het voor de afbuiging vereiste blinde vermogen. Wil men niettemin ook hier de laatstbesproken methode toepassen, dan

[3]) Bovendien is een (niet al te grote) rimpelspanning weinig storend in het waargenomen beeld, daar ze synchroon is met de horizontale beweging van de lichtstip.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

moet men dus de afbuigingsapparatuur ruimer dimensionneren dan anders nodig zou zijn. Bovendien moet men er voor zorg dragen dat de fluctuaties in de gemiddelde bundelstroom — waarmee de gemiddelde helderheid van het ontvangen beeld correspondeert — noch de hoogspanning noch de afbuigingsamplitude doen variëren. Om deze redenen geeft men bij projectiesystemen meestal de voorkeur aan andere methodes.

Eén hiervan, toegepast in een projectie-ontvanger voor gebruik in de huiskamer, is in dit tijdschrift reeds uitvoerig besproken [4]). In het bedoelde geval bedraagt de gelijkspanning 25 kV. Ze wordt verkregen door middel van drie in cascade geschakelde trappen. De eerste trap wordt gevoed met spanningsimpulsen, waarvan de topwaarde ongeveer 8,5 kV bedraagt. De impulsen worden verkregen met behulp van een zaagtandstroom, die door een spoel loopt. Bij iedere sprong in de stroom ontstaat over de spoel, die met de eigen capaciteit een trillingskring vormt, een gedempte trilling, waarvan de eerste en de tweede halve periode de gelijkrichter doen werken. De eigen frequentie van de trillingskring is ongeveer 32 000 Hz, de herhalingsfrequentie waarmee de kring wordt aangestoten, ongeveer 1000 Hz.

Voor verdere bijzonderheden verwijzen wij naar het in noot [4]) aangehaalde artikel.

Gelijkrichting van een hoge sinusvormige spanning met hoge frequentie

Volgens een vierde methode wordt een hoge sinusvormige wisselspanning, voortgebracht door een oscillator, gelijkgericht (al of niet met gebruikmaking van een cascadeschakeling). Ook deze methode vindt bij projectietelevisie toepassing. Daar de gebruikte spoelen in de regel luchtspoelen zijn, is men gedwongen de oscillator te laten werken met een voor goede afvlakking onnodig hoge frequentie, bijv. 300 kHz, terwijl toch de afmetingen van de spoel zodanig worden dat geen zeer vaste koppeling is te verkrijgen, met het gevolg dat het rendement van de oscillator vrij laag is en, aan de gelijkstroomzijde, de inwendige weerstand hoog. Naar we aanstonds zullen zien, moet echter de inwendige weerstand juist laag zijn. Hoe hoger de inwendige weerstand van nature is, des te meer moeite kost het, door bijzondere maatregelen een lage inwendige weerstand te verkrijgen.

Een belangrijke verbetering in deze opzichten is verkregen door gebruik te maken van het ferromagnetische materiaal Ferroxcube [5]) in de spoelen van de oscillator. Hierdoor wordt men in staat gesteld te werken met betrekkelijk lage frequenties (enige tientallen kHz), waarbij de magnetische verliezen in de kern en de diëlectrische verliezen in de isolatie gering zijn, zonderdat men vervalt in spoelen van grote afmetingen [6]). Uit het oogpunt van afvlakking heeft het geen zin de frequentie hoger te kiezen, daar men wegens het fluctueren van de belasting toch een zekere buffercapaciteit nodig heeft.

In het volgende zullen wij op deze methode van hoogspanningsopwekking nader ingaan en daarna twee uitgevoerde ontwerpen voor 50 kV beschrijven. Wij willen echter vooraf nog even de electrische eisen bespreken die men aan een hoogspanningsgenerator voor televisie-ontvangst moet stellen.

Waaraan de hoogspanningsgenerator in electrisch opzicht moet voldoen

In de eerste plaats moet de generator natuurlijk bij de gewenste spanning de nodige stroom kunnen leveren. Wat deze stroom betreft, rekenen we met de grootste gemiddelde waarde van de bundelstroom die in de weergeefbuis toelaatbaar is. De toppen in de stroom kunnen nog enige malen zo hoog zijn.

Veelal eist men, dat de generator deze maximale gemiddelde stroom ($I_{0\,max}$) kan geven bij de nominale waarde $V_{0\,nom}$ van de versnelspanning, dat voorts bij continu leveren van een grotere stroom de spanning snel daalt (zodat de kortsluitstroom niet veel groter dan $I_{0\,max}$ is), en dat bij nullast de spanning slechts weinig hoger is dan $V_{0\,nom}$. In *fig. 1* is de gewenste betrekking tussen de spanning V_0 en de stroom I_0 weergegeven. Een karakteristiek als deze werkt als een soort veiligheid, die overbelasting van het scherm van de weergeefbuis verhindert.

Voor zover de ogenblikswaarde van de stroom, in de lichte partijen van het televisiebeeld, de gemiddelde waarde overschrijdt, wordt de stroom onttrokken aan een buffercondensator. Soms hebben de normale condensatoren van de gelijkrichter al voldoende bufferwerking, of voorziet de anodecapaciteit van de weergeefbuis hierin. Zo niet, dan moet een extra-condensator speciaal voor dit doel worden aangebracht, zoals straks nog ter sprake zal komen.

---

[4]) Een televisie-ontvanger met geprojecteerd beeld, III. De apparatuur voor het opwekken van 25 kV anodespanning, door G. J. Siezen en F. Kerkhof, Philips techn. T. **10**, 157-166, 1948.

[5]) J. L. Snoek, Niet-metallisch magnetisch materiaal voor hoge frequenties, Philips techn. T. **8**, 353-360, 1946, en W. Six, Enkele toepassingen van Ferroxcube, Philips techn. T. **13**, 317-328, 1951 (No. 11).

[6]) Op de mogelijkheden die hierin liggen werden wij attent gemaakt door de heer P. J. H. Janssen, van het Televisie-apparatenlaboratorium te Eindhoven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

In de tweede plaats is van groot belang de inwendige weerstand. Wij zeiden al dat deze klein moet zijn, dus dat de karakteristiek (fig. 1) tussen $I_0 = 0$ en $I_0 = I_{0\,max}$ ongeveer horizontaal moet lopen. Dit volgt uit twee overwegingen.

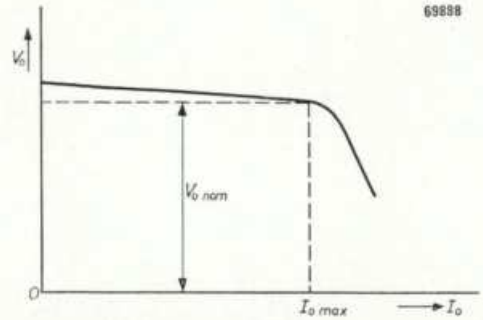

Fig. 1. Gewenst verloop van de gelijkspanning V_0 van een hoogspanningsgenerator voor een weergeefbuis, als functie van de gelijkstroom I_0. De spanning bij nullast moet maar weinig hoger zijn dan de spanning $V_{0\,nom}$ die behoort bij de grootste gemiddelde stroom $I_{0\,max}$ van de buis, en bij grotere stroom moet de spanning snel afnemen.

Het focusseren van de electronenbundel geschiedt in weergeefbuizen meestal door middel van een magnetische „lens". De sterkte van zo'n lens is afhankelijk van de versnelspanning. Indien deze spanning verandert, als gevolg bijv. van een andere gemiddelde helderheid van het beeld, moet tevens de instelling worden gewijzigd teneinde het beeld zo scherp mogelijk te houden. Een te grote inwendige weerstand maakt dus, dat men de scherpstelling telkens moet bijregelen.

De andere overweging is, dat bij de thans in weergeefbuizen algemeen gebruikelijke magnetische afbuiging van de bundel de deflectiehoek afhangt van de versnelspanning (de hoek is omgekeerd evenredig met de wortel uit de versnelspanning). Bij fluctuatie van deze spanning varieert het beeld dus in grootte, wat, evenals de variatie in scherpte, een onaangenaam verschijnsel is.

Om deze effecten te vermijden, moet men er dus voor zorgen dat de versnelspanning zo weinig mogelijk met de stroomsterkte varieert, met andere woorden: dat de inwendige weerstand van de hoogspanningsgenerator zo klein mogelijk is.

Nadere beschouwing van een hoogspanningsgenerator die bestaat uit een oscillator en een gelijkrichter

Wij zullen nu de laatstbeschreven methode van hoogspanningsopwekking aan een nader onderzoek onderwerpen. Daartoe zullen we eerst het gelijkrichtende gedeelte en vervolgens de oscillator beschouwen, en ten slotte de maatregelen bespreken die men kan nemen om de inwendige weerstand te verminderen.

De gelijkrichter

We gaan uit van het eenvoudige schema dat in *fig. 2a* is weergegeven. Hierin is L-C de trillingskring van de oscillator, D een diode en C_1 een afvlakcondensator. We vatten de kring tevens op als onderdeel van de gelijkrichterschakeling; uit de hier volgende beschouwing volgt namelijk een conclusie aangaande de grootte van L en C.

De tijd t stellen we nul op het ogenblik waarop de spanning v over de trillingskring nul is en op het punt staat positief te worden (dwz. de met de anode van D verbonden pool van C positief ten opzichte van de andere pool). De spanning v is dan aanvankelijk gegeven door $v = V \sin \omega t$ (fig. 2*b*), en, als we de verliezen van de kring verwaarlozen, de stroom i door $I \cos \omega t$ (fig. 2*c*). Hierin is V de topwaarde die de spanning zou bereiken bij afwezigheid van de gelijkrichter, I de topwaarde van de stroom, en ω de eigen hoekfrequentie van de trillingskring.

Zodra v gelijk wordt aan de spanning die over de afvlakcondensator staat, wordt de diode geleidend. Eenvoudigheidshalve onderstellen we de capaciteit

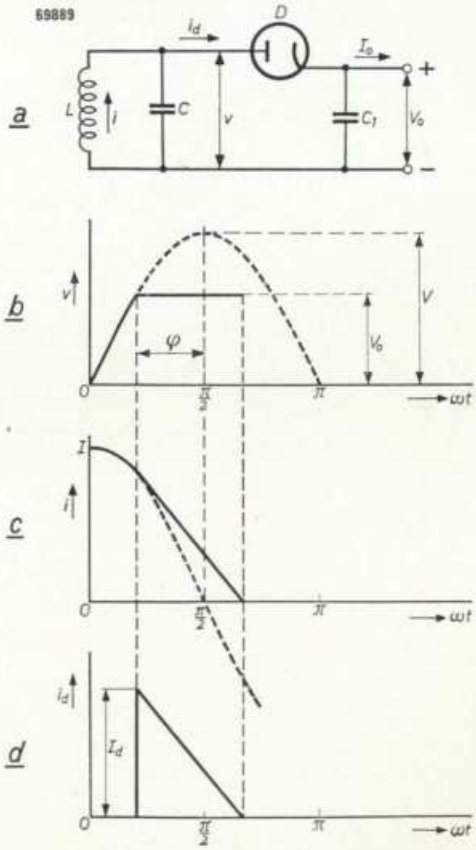

Fig. 2. *a*) Schakeling van een hoogspanningsgenerator. L-C trillingskring, die tevens deel uitmaakt van een oscillator. D diode. C_1 afvlakcondensator.
Als functie van ωt zijn uitgezet: in (*b*) de spanning v over de L-C-kring, in (*c*) de stroom i door de spoel L, en in (*d*) de stroom i_d door de diode. Deze grafieken zijn niet voortgezet voorbij het ogenblik waarop i_d nul wordt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

C_1 zo groot dat de via de diode toegevoerde stroomstoten i_d geen noemenswaardige veranderingen van de spanning over C_1 tot gevolg hebben, met andere woorden dus, dat over C_1 een gelijkspanning (V_0) staat waarvan de rimpel kan worden verwaarloosd. Eveneens zullen we verwaarlozen het spanningsverlies dat in de diode tijdens stroomdoorgang optreedt. Zolang de diode geleidt, is dus ook de spanning over C en L de gelijkspanning V_0.

Het constant zijn van de spanning over C betekent, dat door C geen stroom loopt, dus dat de stroom i die door L vloeit, in zijn geheel zijn weg door de diode neemt. Uit het constant zijn van de spanning over L volgt, dat deze stroom i (gelijk aan de diodestroom i_d, fig. 2*d*) lineair met de tijd afneemt.

De faze ωt waarbij de diode geleidend wordt, noemen we $\pi/2 - \varphi$. Dan is

$$V_0 = V \cos \varphi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1a)$$

en de beginwaarde I_d van de diodestroom

$$I_d = I \sin \varphi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1b)$$

Bij $t = 0$ was in de trillingskring alleen magnetische energie aanwezig, ten bedrage van $\frac{1}{2}LI^2$. Een gedeelte hiervan, te weten $\frac{1}{2}CV_0^2$, komt als electrische energie terecht in de condensator C. De rest, $\frac{1}{2}LI_d^2$, wordt via de diode toegevoerd aan de afvlakcondensator. Dus:

$$\tfrac{1}{2}LI^2 = \tfrac{1}{2}CV_0^2 + \tfrac{1}{2}LI_d^2 .$$

In combinatie met (1b) volgt hieruit:

$$I_d^2 = \operatorname{tg}^2\varphi \cdot \frac{C}{L} V_0^2 . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Is f de frequentie waarmee het verschijnsel wordt herhaald, dan krijgt de condensator C_1 per seconde f maal de energie $\frac{1}{2}LI_d^2$ toegevoerd, en in dezelfde tijd wordt er de energie I_0V_0 aan onttrokken (I_0 is de gemiddelde waarde van de gelijkstroom). In de stationnaire toestand is dus

$$f \cdot \tfrac{1}{2}LI_d^2 = I_0V_0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Indien φ klein is, dwz. zolang C_1 slechts gedurende een kleine fractie van de periode aan C is parallelgeschakeld, mogen we bij benadering f gelijkstellen aan $\omega/2\pi = 1/(2\pi\sqrt{LC})$. Uit (3) volgt dan:

$$I_d^2 = 4\pi \sqrt{\frac{C}{L}}\, I_0V_0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Uit (4) en (2) vindt men door elimineren van V_0:

$$\operatorname{tg} \varphi = 4\pi \frac{I_0}{I_d} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

en door elimineren van I_d^2:

$$\sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{\operatorname{tg}^2 \varphi}{4\pi} \cdot \frac{V_0}{I_0} . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Deze formules vormen een leidraad bij het ontwerp. Voor I_0 en V_0 nemen we de grootste gemiddelde stroom, $I_{0\,max}$, resp. de versnelspanning $V_{0\,nom}$, die voor de weergeefbuis nodig zijn. In de eerste plaats doen we nu een keuze in zake $\operatorname{tg} \varphi_{max}$, d.i. de waarde van $\operatorname{tg} \varphi$ die behoort bij $I_0 = I_{0\,max}$. Daarbij gelden de volgende overwegingen.

Bij nullast is de gelijkspanning gelijk aan de topwaarde V van de wisselspanning, en bij volle belasting is ze gelijk aan $V \cos \varphi$. Teneinde zonder speciale maatregelen de inwendige weerstand van de generator klein te houden, zou men φ_{max} zo klein mogelijk willen nemen. Dan immers is het verschil tussen V en $V \cos \varphi_{max}$ het kleinst. Een onderste grens van φ_{max} volgt echter uit (5) indien we voor I_d de maximale topstroom invullen die voor het gekozen diodetype nog toelaatbaar is; bij kleinere waarden van φ_{max} zou de diode worden overbelast. Een andere overweging leidt er toe, met φ_{max} niet tot deze onderste grens te gaan: het rendement wordt namelijk ongunstiger als φ_{max} afneemt. Dit is als volgt in te zien. In tegenstelling tot wat wij aannamen, heeft de trillingskring in werkelijkheid natuurlijk wel verliezen. Bij een gegeven (eindige) kwaliteit gaat per periode een bepaald gedeelte van de hoeveelheid energie $\frac{1}{2}LI^2$, die bij $t = 0$ aanwezig was, verloren. Hoe kleiner nu φ_{max} is, des te geringer de fractie van $\frac{1}{2}LI^2$ is die per periode via de diode wordt afgeleverd, en des te ongunstiger dit gedeelte zich verhoudt tot de verliezen. Ter wille van het rendement zou men φ_{max} dus juist groot moeten maken.

Er moet derhalve een compromis worden gezocht. Een gunstige waarde van $\operatorname{tg} \varphi_{max}$ ligt gewoonlijk tussen 0,2 en 0,5.

Is $\operatorname{tg} \varphi_{max}$ gekozen, dan volgt uit (6) de waarde van $\sqrt{L/C}$. Door ook een waarde voor de frequentie f aan te nemen, legt men $\sqrt{LC}$ vast, dus ook L en C afzonderlijk. Aangaande het kiezen van f willen we nog het volgende opmerken.

In het voorgaande werd al gezegd dat een hoge frequentie gunstig is voor de afvlakking. Ook zijn L en C, of althans is LC, dan klein. Een nadeel van een hoge frequentie echter is, dat de verliezen in een spoel meestal sterk toenemen als men de frequentie verhoogt. In *fig. 3* is bij wijze van voorbeeld als functie van de frequentie uitgezet de gemeten verhouding van de verliesweerstand r tot de zelfinductie L van een schijfvormige spoel. Om de verliezen binnen de perken te houden, kiezen

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

wij de frequentie dus niet te hoog, bij voorkeur echter wel boven de hoogste hoorbare frequentie — dit om te voorkomen dat een hinderlijke fluittoon zou optreden wanneer onderdelen van de constructie in mechanische trilling mochten geraken.

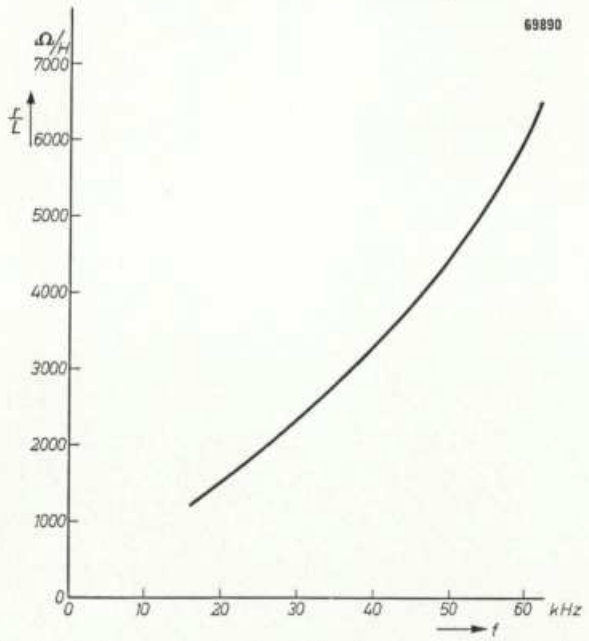

Fig. 3. Verliesweerstand r in verhouding tot de zelfinductie L als functie van de frequentie f, voor een schijfvormige spoel met een kern van Ferroxcube.

De waarde van C die uit $\frac{1}{2}\sqrt{L/C}$ en $\frac{1}{2}\sqrt{LC}$ volgt, mag natuurlijk niet kleiner zijn dan de som van de eigen capaciteit van de spoel en de ingangscapaciteit van de gelijkrichter. Deze laatste bijdrage kan vooral aanzienlijk zijn als men gebruik maakt van een cascadeschakeling met een groot aantal diodes. Bij de hoogspanningsgeneratoren die in dit laboratorium zijn geconstrueerd, hebben wij gestreefd naar een zodanige dimensionnering dat de ingangscapaciteit van de gelijkrichter en de eigen capaciteit van de spoel samen juist de berekende waarde C opleveren, zodat geen extra-condensator behoeft te worden aangebracht. Dit is een groot voordeel, want condensatoren voor de hier optredende hoge wisselspanningen met hoge frequentie zijn kostbare onderdelen [7]).

De frequentie kiezen wij bij voorkeur tussen 20 en 30 kHz. In dit gebied levert het gebruik van Ferroxcube als kernmateriaal grote voordelen [8]). In vergelijking met een luchtspoel zijn er minder windingen nodig om de gewenste zelfinductie te verkrijgen, en tevens is de koppeling tussen gedeelten van de spoel onderling, en tussen de spoel en nog te bespreken hulpwikkelingen, veel vaster.

De wervelstromen in Ferroxcube zijn geheel te verwaarlozen. In de practijk behoeft men in het genoemde frequentiegebied alleen rekening te houden met hysteresisverliezen in de kern en met diëlectrische verliezen in de isolatie. Mede met het oog op de hysteresisverliezen mag de magnetische inductie niet te hoog worden genomen, bijv. 0,10 tot 0,15 Wb/m^2. Als isolatie gebruiken wij een materiaal met een kleine verlieshoek.

Tot zover wat betreft de schakeling met enkelvoudige gelijkrichting (fig. 2*a*). De gevraagde gelijkspanning kan echter zo hoog zijn dat verg. (6) leidt tot een waarde van L/C die groter is dan wat men kan realiseren. Uitkomst brengt dan de cascadeschakeling, waarbij de totale gelijkspanning een veelvoud is van de in (6) voorkomende spanning V_0.

Voor de werking van de cascadeschakeling verwijzen wij naar hetgeen hierover werd meegedeeld in het in noot [4]) aangehaalde artikel. Men neme daarbij echter in aanmerking dat in het daar behandelde geval de wisselspanning aan de ingang een gedempte trilling was, doch dat wij nu hebben te maken met een ongedempte trilling.

De oscillator

Bij de bespreking van de gelijkrichter volgens fig. 2*a* zijn we uitgegaan van de onderstelling dat ten tijde $t = 0$ in de spoel L een stroom I vloeide, zonder ons af te vragen hoe die stroom tot stand is gekomen. In de halve periode waarin de spanning v positief is — en, indien een cascadeschakeling wordt gebruikt, ook in de andere helft — geeft de trillingskring energie aan de gelijkrichter af, terwijl er bovendien nog energie verloren gaat door de in de kring optredende verliezen. Indien de energie niet werd aangevuld, zou na één periode de stroom kleiner zijn dan de beginwaarde I.

De oscillator nu dient er voor, per periode evenveel energie aan de kring toe te voeren als er in dezelfde tijd is afgegeven en verloren gegaan, zodat de stroom door de spoel bij het begin van iedere periode weer de waarde I bereikt.

Een eenvoudige schakeling van een oscillator is getekend in *fig. 4*. Zowel de anode- als de stuurroosterketen van een penthode is inductief met de L-C-kring gekoppeld, en wel zodanig dat de terugkoppeling positief is.

De schakeling werkt volgens „instelling klasse C", dwz. er loopt slechts anodestroom gedurende

---

[7]) Men zou natuurlijk een condensator voor lagere spanning en met grotere capaciteit kunnen aansluiten over een gedeelte van de spoel, doch door de nooit volledige koppeling tussen de delen van de spoel zou dit aanleiding kunnen geven tot het optreden van parasitaire oscillaties. Om deze reden vermijdt men dergelijke schakelingen liever.

[8]) Zie het in noot [5]) aangehaalde artikel van W. Six.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

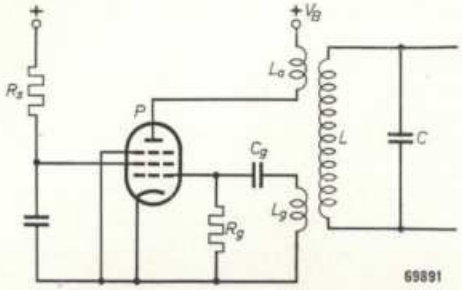

Fig. 4. Oscillatorschakeling. P penthode, waarvan de anodekring en de stuurroosterkring door middel van de spoel L_a resp. L_g zijn gekoppeld met de trillingskring L-C (vgl. fig. 2*a*). C_g roostercondensator. R_g lekweerstand. R_s weerstand in serie met het schermrooster.

minder dan een halve periode. Tijdens de stroomdoorgang is de anodespanning v_a lager dan de voedingspanning V_B (*fig. 5*), zodat dan aan de kring energie wordt toegevoerd.

Om het rendement te verhogen, is het gunstig, de stroomdoorgang te beperken tot slechts een kleine fractie van een halve periode.

Dat dit gunstig is voor het rendement kan als volgt worden ingezien. Stel eens dat de anodestroomimpulsen zo smal zijn dat tijdens hun duur de stroom en de anodespanning als constant mogen worden beschouwd, zoals in fig. 5 is voorgesteld. We beschouwen nu de verhouding van de energie die per periode aan de trillingskring wordt toegevoerd, tot de energie die in dezelfde tijd aan de anode wordt gedissipeerd. Uit de zoëven gemaakte onderstelling volgt, dat deze verhouding gelijk is aan de verhouding van de spanningen v_{L_a} (over de koppelspoel L_a) en v_a, beide genomen op het ogenblik van de impuls. Deze verhouding — en dus tevens het rendement — is het grootst indien v_{L_a} de maximale, en dus v_a de minimale, waarde heeft, dwz. indien de anodestroomimpuls valt bij het minimum van v_a. Maakt men de impuls breder, zodat men v_a en v_{L_a} niet meer als constant tijdens de impulsduur mag beschouwen, dan moet men in de bovengenoemde energieverhouding v_{L_a} en v_a vervangen door een soort gemiddelde over de impulsduur. Dit gemiddelde is voor v_{L_a} kleiner dan het maximum, voor v_a groter dan het minimum, zodat de verhouding ongunstiger wordt.

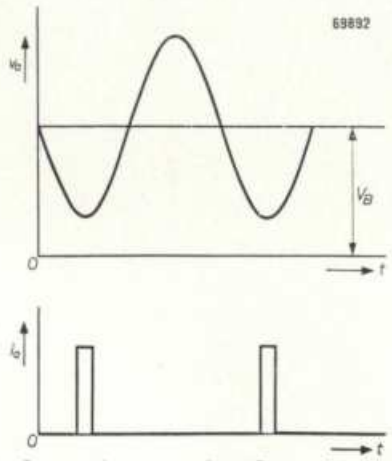

Fig. 5. Anodespanning v_a en impulsvormige anodestroom i_a van de penthode P (fig. 4), als functie van de tijd t (instelling klasse C). De impuls i_a is overdreven smal getekend.

De instelling klasse C wordt verkregen door er voor te zorgen dat de wisselspanning van de spoel L_g enige malen groter is dan de „roosterruimte" van de penthode.

Een variërende belasting van de hoogspanningsgenerator betekent een variërende demping op de oscillatorkring, dus in het algemeen een variatie van de wisselspanningsamplitude, die zich zou uiten in een meeveranderende gelijkspanning. Afgezien van de bijzondere maatregelen om de gelijkspanning constant te houden — die ter sprake zullen komen in het volgende hoofdstuk —, kan men ook reeds in de oscillator zelf voorzieningen treffen om de wisselspanning slechts weinig van de demping te doen afhangen, en wel door de amplitude op een geschikte wijze te begrenzen.

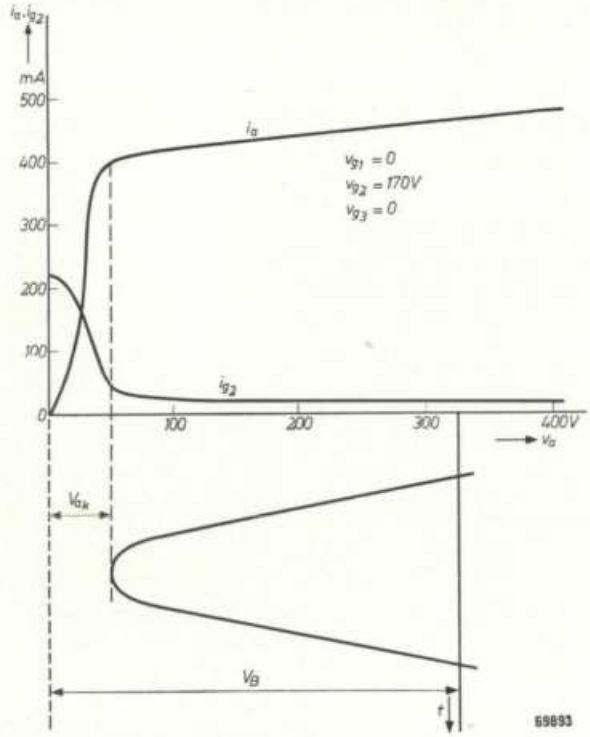

Fig. 6. Anodestroom i_a en schermroosterstroom i_{g2} van een penthode PL 81 als functie van de anodespanning v_a, bij een constante schermroosterspanning v_{g2} (170 V), en een spanning 0 op het stuurrooster en het remrooster.
In de oscillator schommelt v_a sinusvormig met de tijd t om de waarde V_B. De amplitude is hier zo groot getekend dat het minimum van v_a juist bij de knie van de i_a-v_a-karakteristiek valt (V_{a_k}). Daardoor wordt de amplitude van v_a begrensd.

Na het inschakelen van een oscillator neemt de spanningsamplitude snel toe, tot ze door een of ander effect wordt begrensd. Voor het beoogde doel kunnen we deze begrenzing geschikt doen plaats vinden door de knie in de karakteristiek die de anodestroom i_a van de penthode voorstelt als functie van de anodespanning v_a, bij constante spanningen op de roosters (*fig. 6*). De begrenzing komt tot stand doordat bij groeiende amplitude van de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

anodewisselspanning het minimum van v_a ten slotte zo klein wordt dat het bij de knie van de i_a-v_a-karakteristiek komt te liggen. Een verdere groei van de amplitude wordt tegengegaan doordat v_a in het gebied zou komen waarin i_a met dalende v_a sterk afneemt.

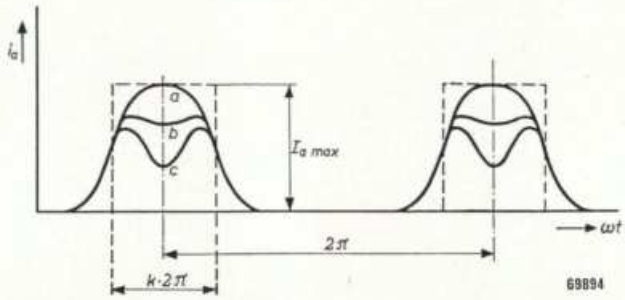

Fig. 7. Anodestroom i_a van de penthode in fig. 4, als functie van de tijd, (*a*) bij volle belasting, (*b*) bij halve belasting, en (*c*) bij nullast.

De begrenzende werking kan men nog verbeteren door gebruik te maken van het feit dat beneden de knie, in het zg. overnemingsgebied, bij afnemende v_a de schermroosterstroom i_{g_2} ten koste van i_a sterk toeneemt. Voedt men nu het schermrooster via een serieweerstand (R_s, fig. 4), dan zal bij grotere amplituden van v_a dan in fig. 6 is getekend de schermroosterspanning afnemen. Dit heeft tot gevolg dat de i_a-v_a-karakteristiek lager komt te liggen en i_a dus nog meer afneemt dan het geval zou zijn bij constante schermroosterspanning.

Indien men de spoelen L en L_a (fig. 4) zeer vast met elkaar koppelt — wat met gebruik van een Ferroxcube-kern zeer goed mogelijk is —, is de amplitude V van de wisselspanning over de L-C-kring, en dus ook de gelijkspanning V_0, nagenoeg evenredig met de amplitude van de anodewisselspanning. Verandert deze laatste weinig, dan zal dus ook V_0 niet veel variëren.

De schakeling kan het best zo worden gedimensionneerd dat bij de maximale waarde van de afgenomen gelijkstroom (dus bij maximale demping op de trillingskring) het minimum van v_a juist komt te liggen bij de knie in de i_a-v_a-karakteristiek. Bij kleiner wordende belasting zal de amplitude van de anodewisselspanning willen toenemen, doordat per periode meer energie aan de trillingskring wordt toegevoerd dan er van wordt afgevoerd. Dit zou een ongewenste toeneming van de gelijkgerichte hoogspanning tot gevolg hebben. De beschreven begrenzende effecten echter bewerkstelligen dat bij een slechts weinig grotere anodewisselspanningsamplitude de anodestroom zover afneemt dat een nieuw evenwicht tussen de per periode toe- en afgevoerde energieën ontstaat. In de kromme die i_a als functie van de tijd weergeeft, ontstaat dan een deuk, die dieper is naarmate de gelijkstroom kleiner is (*fig.* 7).

In de beschreven schakeling gebruikt men bij voorkeur een penthode die al bij een lage anodespanning een grote anodestroom kan doorlaten. Tevens moet de knie in de i_a-v_a-karakteristiek zo scherp mogelijk zijn, en optreden bij een lage waarde van v_a. De penthode PL 81, waarvoor fig. 6 geldt, voldoet goed aan deze wensen.

Om aan de oscillatorschakeling berekeningen te kunnen uitvoeren ten dienste van het ontwerp, vervangen we de anodestroomvorm voor volle belasting door een rechthoek (gestippeld in fig. 7) met een hoogte gelijk aan de maximale waarde $I_{a\,max}$ van de anodestroom en met een zodanige breedte dat de oppervlakte van de rechthoek gelijk is aan die van de werkelijke stroomvorm. Deze breedte stellen we k maal de duur van een periode. De fractie k is meestal 0,20 tot 0,25.

Als verdere benadering nemen we aan, dat gedurende de stroomdoorgang de anodespanning gemiddeld gelijk is aan de spanning V_{a_k} waarbij de knie optreedt. De trillingskring krijgt dus toegevoerd per periode de energie $kI_{0\,max}(V_B - V_{a_k})$, dwz. het vermogen $fkI_{a\,max}(V_B - V_{a_k})$. De generator levert het vermogen $I_{0\,max}V_{0\,nom}$. Noemen we het rendement η_a (gloeistromen en schermroosterstromen buiten beschouwing gelaten), dan is dus

$$\eta_a fkI_{a\,max}(V_B - V_{a_k}) = I_{0\,max}V_{0\,nom}.$$

Deze formule kan dienen om bij het maken van een ontwerp $I_{a\,max}$ te schatten, indien $I_{0\,max}$, $V_{0\,nom}$, V_{a_k} bekend zijn, V_B en f zijn gekozen en men voor η_a en k op ervaring berustende waarden heeft genomen. Practisch voorkomende waarden van k werden zoëven al genoemd; η_a ligt meestal — afhankelijk van tg φ en van de kwaliteit van de spoel, zie boven — tussen 0,3 en 0,6.

De zo gevonden waarde van $I_{a\,max}$ kan groter zijn dan voor de gekozen buis toelaatbaar is. Men kan dan twee of meer buizen gebruiken, hetzij eenvoudig parallelgeschakeld, hetzij, indien het een even aantal is, in balansschakeling.

Vermindering van de inwendige weerstand

Hoewel de boven beschreven wijzen van begrenzing van de wisselspanningsamplitude er reeds in aanzienlijke mate toe bijdragen, de inwendige weerstand van de hoogspanningsgenerator klein te houden, zijn zij in de regel niet voldoende indien in dit opzicht zeer hoge eisen worden gesteld.

In zulke gevallen maakt men gebruik van een automatische spanningsregeling. Hiertoe moet de geleverde hoogspanning regelbaar zijn door middel van een regelspanning, die automatisch zodanig varieert dat de hoogspanning bij veranderlijke belasting in voldoende mate constant blijft.

Het gebruik van spanningsregeling maakt de boven besproken maatregelen om variaties van de spanning tegen te gaan (keuze van φ_{max}, begren-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zing in de oscillator) geenszins overbodig. Liet men namelijk deze maatregelen achterwege, dan zou bijv. bij een defect in de regelaar de spanning tot een ontoelaatbaar hoge waarde kunnen oplopen.

De regelspanning nu kan men op verschillende manieren verkrijgen. Men kan

a) de regelspanning evenredig maken met de hoogspanning, of met het verschil tussen deze spanning en een constante vergelijkingspanning;
b) de regelspanning evenredig maken met de afgegeven gelijkstroom;
c) de regelspanning vormen als de som van twee spanningen, de ene verkregen volgens (a), de andere volgens (b).

Methode (a) heeft het voordeel van grote stabiliteit. Men kan er echter de inwendige weerstand niet geheel nul, of negatief, mee maken. Dit kan wel bij toepassing van methode (b), doch dan bestaat kans op instabiliteit. Met de „gemengde" methode (c) kan men de voordelen van (a) en (b) vaak op gelukkige wijze combineren.

De regelspanning kan men op verschillende manieren op de hoogspanning invloed laten uitoefenen. Wij zullen hiervan twee voorbeelden laten zien, ontleend aan hoogspanningsgeneratoren voor 50 kV die in het Natuurkundig Laboratorium te Eindhoven zijn vervaardigd.

1) De eerste regelinrichting die we hier beschrijven wordt gebruikt in een generator voor 50 kV bij een maximale gemiddelde stroom van 0,45 mA.

De regelspanning V_r wordt verkregen door de stroom I_0 te laten vloeien door een weerstand R_r (*fig. 8*), volgens methode (b) dus. De regelspanning maakt deel uit van de roosterspanning van een triode, waarvan de anodekring is gekoppeld met de trillingskring L-C van de hoogspanningsgenerator. Deze triode, of „dempbuis", fungeert als regelend element, doordat ze meer of minder dempend werkt naarmate de roosterspanning hoger of lager is. Wordt de belasting kleiner, en het daarmee corresponderende gedeelte van de totale demping van de oscillator dus eveneens, dan vermindert $|V_r|$ zodanig dat de dempbuis een evenveel grotere demping gaat vormen, zodat de totale demping constant blijft.

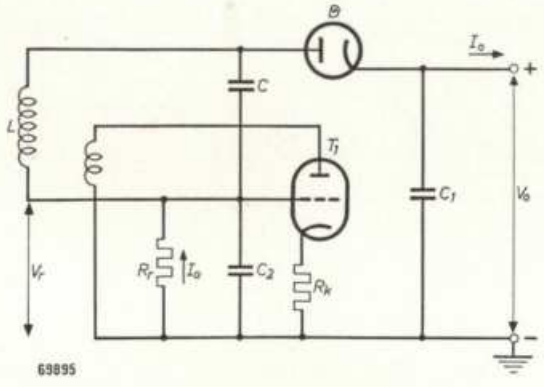

Fig. 8. Principeschema van een hoogspanningsgenerator met spanning V_0 die automatisch constant wordt gehouden door middel van een dempbuis T_1.
R_r weerstand waarover een regelspanning $V_r = I_0 R_r$ ontstaat. C_2 afvlakcondensator. R_k kathodeweerstand. Voor de betekenis van de overige letters, zie fig. 2 en 4.

Een voordeel van deze schakeling is, dat het vermogen dat de oscillator uit de voedingsbron opneemt, constant is. Een eventueel hoge inwendige weerstand van deze bron is dus niet van invloed op de inwendige weerstand van de hoogspanningsgenerator. Als een nadeel moet natuurlijk worden aangemerkt, dat de dempbuis een vrij groot vermogen moet kunnen dissiperen, namelijk $V_{0\,\mathrm{nom}} \times I_{0\,\mathrm{max}}$ (in ons geval 22,5 W). Om deze reden komt deze methode alleen in aanmerking voor niet al te grote vermogens.

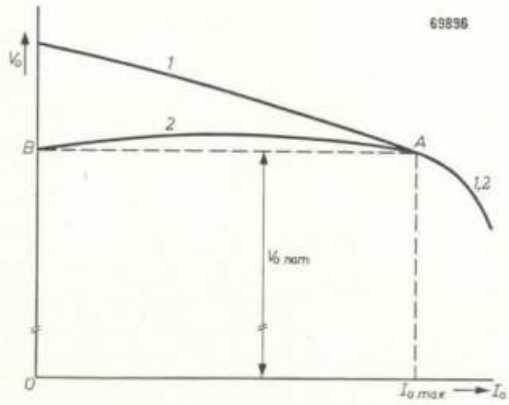

Fig. 9. Karakteristieken $V_0 = f(I_0)$ van een hoogspanningsgenerator, *1* zonder, *2* met automatische spanningsregeling.

Het instellen van de schakeling gaat zeer eenvoudig. In *fig. 9* is *1* de karakteristiek $V_0 = f(I_0)$ voor het geval dat de regelinrichting niet werkt. Ze is zo gelegd dat bij de maximale gemiddelde stroom $I_{0\,\mathrm{max}}$ de nominale spanning $V_{0\,\mathrm{nom}}$ aanwezig is (punt A). Denken we nu de regelinrichting wèl in functie. Bij nullast loopt geen stroom door de weerstand R_r (fig. 8). In dat geval wordt de spanning tussen rooster en kathode van de dempbuis dus alleen geleverd door de kathodeweerstand R_k. Door middel van deze weerstand wordt de roosterspanning zo ingesteld dat de nullastspanning van de hoogspanningsgenerator gelijk wordt aan $V_{0\,\mathrm{nom}}$; de demptriode vormt dan een even grote demping op de trillingskring als de gelijkrichter dit doet bij volle belasting. De karakteristiek $V_0 = f(I_0)$ bij functionnerende regelinrichting, *2*, gaat dus door het punt B (fig. 9), dat even hoog ligt als A.

Wordt de hoogspanningsgenerator belast, dan gaat er stroom lopen door R_r, zodat de roosterspanning sterker negatief wordt en de demping die de triode levert, vermindert. De grootte van R_r wordt nu zo ingesteld dat bij volle belasting van de generator de triode juist geen anodestroom meer doorlaat en dus niet meer dempt. De karakteristiek *2* gaat dan, evenals *1*, door het punt A.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

In het ideale geval zou de karakteristiek nu de rechte BA zijn. Daar echter niet alle effecten in deze schakeling een lineaire functie van de regelspanning V_r zijn, wordt meestal een iets gebogen karakteristiek verkregen, zoals *2* in fig. 9. Bij kleine belasting is dan de inwendige weerstand van de hoogspanningsgenerator negatief (toenemende spanning bij toenemende stroom). Mits deze weerstand in absolute waarde niet te groot is, treedt nog geen instabiliteit in, dank zij de positieve weerstand van de belasting.

Denkt men de triode vervangen door een weerstand gelijk aan de gemiddelde inwendige weerstand R_i van de dempbuis met de roosterspanning die optreedt wanneer de hoogspanningsgenerator onbelast is ($V_r = 0$), en houdt men rekening met het feit dat de triode slechts gedurende de helft van elke periode stroom doorlaat, dan vindt men voor het vermogen W_a dat ze dissipeert:

$$W_a = \tfrac{1}{2}\,\frac{V_{a\,\mathrm{eff}}^2}{R_i},$$

waarin $V_{a\,\mathrm{eff}}$ de effectieve waarde van de wisselspanning in de anodekring is. Daar W_a bekend is ($= V_{0\,\mathrm{nom}} \cdot I_{0\,\mathrm{max}}$), volgt hieruit de grootte die we $V_{a\,\mathrm{eff}}$ moeten geven om het gestelde doel te bereiken.

Om niet het gehele vermogen door de triode te laten dissiperen, kan men in serie met deze buis een weerstand schakelen, die een gedeelte van dit vermogen voor zijn rekening neemt.

Niettemin kan het nog nodig zijn, twee of meer buizen parallel of in balans te schakelen.

2) De tweede methode tot automatische spanningsregeling die hier zal worden besproken [9]), is toegepast in een generator voor 50 kV, 1,5 mA. Wegens het grote vermogen, 75 W, is de methode met de dempbuis hier minder geschikt.

De regelspanning, verkregen volgens de boven onder (c) genoemde „gemengde" methode, werkt op het stuurrooster van de oscillatorbuis. Het principeschema is weergegeven in *fig. 10*.

De stroom I_0 loopt door een weerstand R_r en maakt de roosterspanning van een kleine triode T_2 meer negatief naarmate de stroom sterker is. De potentiaal van de anode (punt x) vertoont de fluctuaties van de spanning I_0R_r in versterkte mate en met het juiste teken om de spanning V_r' tussen x en aarde dienst te kunnen laten doen als regelspanning voor het stuurrooster van de oscillatorbuis, doch het potentiaalniveau van x is hiervoor te hoog. Er wordt nu een tweede spanning, met tegengestelde polariteit, aan V_r' toegevoegd. Deze wordt verkregen door de wisselspanning die in een met de spoel L gekoppelde wikkeling L_r wordt geïnduceerd, door middel van een diode (D_2) gelijk te richten. De gelijkspanningscomponent V_r'' die aldus over de weerstand R_d ontstaat, heeft een zodanige polariteit en grootte dat het punt y (fig. 10) een negatieve potentiaal ten opzichte van de kathode van P (aarde) krijgt.

De werking is nu als volgt. Bij toenemende belasting wordt I_0R_r groter, de anodestroom van T_2 neemt af, x stijgt in potentiaal, en, indien we even V_r'' constant onderstellen, stijgt de potentiaal van y even veel. Dit heeft tot gevolg dat de trillingskring een groter vermogen krijgt toegevoerd, zoals ook nodig was wegens de toegenomen belasting.

In werkelijkheid is V_r'' niet constant maar evenredig met de wisselspanning over L_r, dus met de wisselspanning over de L-C-kring en derhalve ook met de te regelen gelijkspanning V_0. Deze evenredigheid is gunstig, daar aldus via V_r'' een tegenkoppeling ontstaat, die veranderingen in V_0 tegenwerkt en de stabiliteit bevordert.

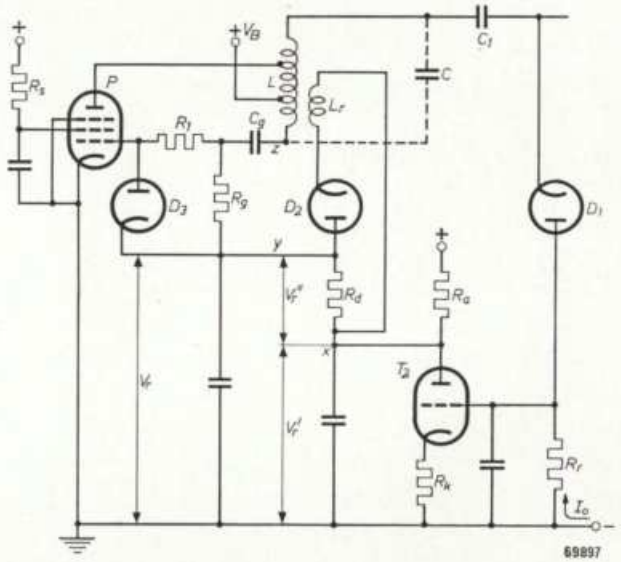

Fig. 10. Principeschema van een hoogspanningsgenerator met constant gehouden spanning, waarbij een regelspanning V_r werkt op het stuurrooster van de oscillatorbuis P.

V_r bestaat uit een gedeelte V_r' dat afhangt van de stroom I_0, en een gedeelte V_r'' dat evenredig is met de spanning V_0.

T_2 hulptriode, D_2 en D_3 hulpdiodes, R_a anodeweerstand, R_d weerstand waarin de door D_2 gelijkgerichte stroom de spanning V_r'' opwekt, R_1 weerstand voor het afplatten van de positieve toppen der wisselspanning aan het stuurrooster van P. Van de in cascade geschakelde gelijkrichter zijn alleen de eerste condensator (C_1) en de eerste diode (D_1) getekend. Voor de betekenis van de overige letters, vgl. fig. 2 en 4.

Bij het instellen gaat men zo te werk dat bij volle belasting het punt y juist op aardpotentiaal komt (een hogere potentiaal mag y niet aannemen, daar dan geen regelende werking meer mogelijk is), en dat bij nullast de potentiaal van y zover is gedaald dat de L-C-kring nog juist voldoende vermogen krijgt toegevoerd om dezelfde hoogspanning $V_{0\,\mathrm{nom}}$ te doen ontstaan als bij volle belasting. Door een geschikte dimensionnering van de weerstanden R_r, R_k en R_a (fig. 10) kan hieraan gemakkelijk worden voldaan.

[9]) Uitgewerkt door de heer L. J. van de Polder, van het Natuurkundig Laboratorium te Eindhoven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Met enkele woorden willen wij nog ingaan op een paar details van fig. 10.

De diode D_3, in combinatie met de weerstanden R_g en R_1, dient om te maken dat bij de positieve toppen van de wisselspanning op het punt z, het stuurrooster de potentiaal van het punt z aanneemt. Hierdoor wordt bereikt dat deze potentiaal bepaalt, hoe groot het vermogen is dat aan de L-C-kring wordt toegevoerd.

De weerstand R_1 bewerkstelligt, dat de wisselspanningscomponent aan het stuurrooster niet sinusvormig is (zoals die aan x), maar afgeplatte positieve toppen heeft. Hierdoor krijgt de anodestroom van de penthode een gunstige krommevorm.

Twee uitvoeringsvoorbeelden

Wij zullen tot besluit nog enige bijzonderheden vermelden aangaande de twee al genoemde hoogspanningsgeneratoren voor 50 kV, die in laboratoriumuitvoering zijn geconstrueerd ten gebruike bij proeven met op groot formaat geprojecteerde televisiebeelden (ongeveer 3 × 4 m²).

50 kV, 0,45 mA

Fig. 11 geeft een beeld van deze in lucht opgestelde hoogspanningsgenerator, waarin het systeem van constant gehouden demping is toegepast. De gelijkrichter (rechts op de foto) bestaat uit vier in cascade geschakelde trappen, elk met een diode DY 30. Iedere buisvoet in de gelijkrichter is omgeven door een uit messing gedraaide ring met grote afrondingstraal, om corona te voorkomen. De buizen en de condensatoren van de gelijkrichter zijn gemonteerd tussen platen van polystyreen.

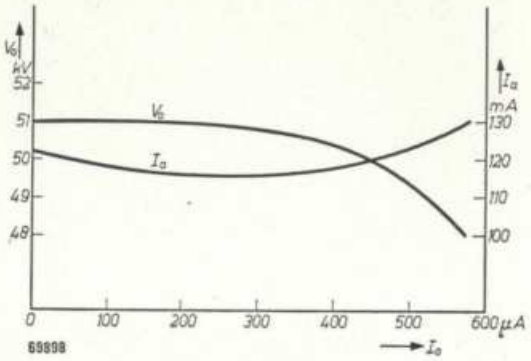

Fig. 12. Gelijkspanning V_0 en uit een bron van 500 V gelijkspanning opgenomen totale anodestroom I_a als functie van de belastingstroom I_0, voor de in fig. 11 afgebeelde hoogspanningsgenerator.

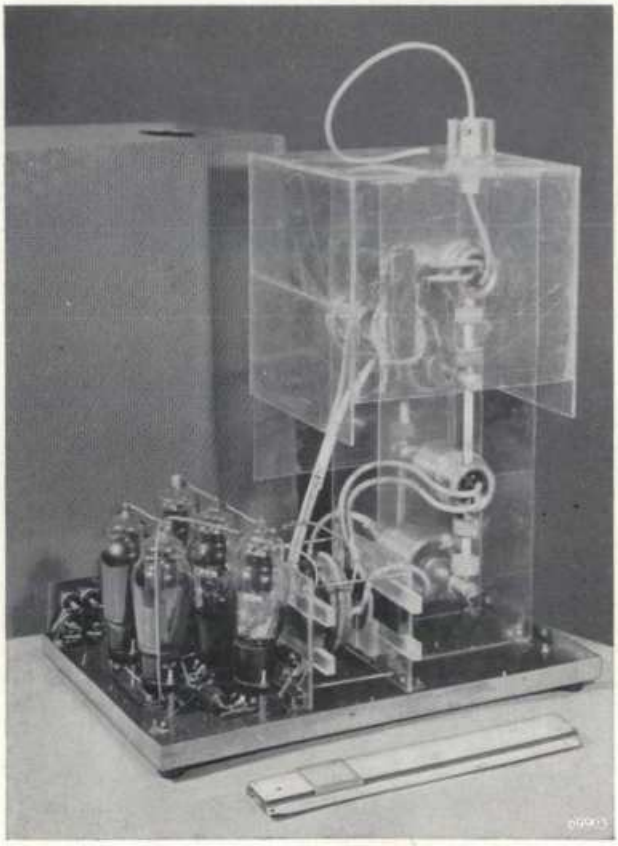

Fig. 11. Experimentele hoogspanningsgenerator voor 50 kV, 0,45 mA. Van links naar rechts: de twee parallelgeschakelde dempbuizen, de drie parallelgeschakelde oscillatorbuizen, de spoel van de oscillator, en, tussen polystyreen platen, de gelijkrichter (vier in cascade geschakelde trappen, elk met een diode DY 30).

De gloeidraden van de diodes, die elk slechts 0,25 W verbruiken, worden gevoed met hoogfrequente stroom. Deze wordt geleverd door de oscillator. De gloeidraad van de eerste en die van de tweede diode worden elk gevoed uit één goed geïsoleerde winding, die direct met de hoofdspoel is gekoppeld. Doch bij de derde en de vierde diode geschiedt de voeding van de gloeidraad via een scheidingstransformator, teneinde het grote spanningsverschil tussen deze gloeidraden en aarde in tweeën te delen. De scheidingstransformator heeft een gesloten magnetisch circuit van Ferroxcube, waarop een primaire en twee secundaire wikkelingen zijn aangebracht, die elk uit slechts enkele windingen bestaan.

De frequentie waarop de oscillator werkt bedraagt 24 kHz.

Fig. 12 geeft de gemeten karakteristiek $V_0 = f(I_0)$. Bij nullast is V_0 maar 2% boven de nominale waarde van 50 kV. In de figuur is ook de totale anodegelijkstroom I_a uitgezet die de oscillator uit een voedingsbron van 500 V opneemt. Wegens de automatisch constant gehouden demping is deze stroom — ongeveer 120 mA — nagenoeg onafhankelijk van I_0.

Voor het rendement bij volle belasting vinden we:

$$\eta_a = \frac{50\,000 \times 0{,}45 \cdot 10^{-3}}{500 \times 120 \cdot 10^{-3}} \times 100\,\% = 37{,}5\,\%.$$

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

50 kV, 1,5 mA

De generator voor 50 kV, 1,5 mA, eveneens in experimentele vorm, is afgebeeld in *fig. 13*. Hier zijn de oscillatorspoel en de cascadeschakeling niet in lucht opgesteld doch in transformatorolie,

Op het chassis links boven op de foto bevinden zich de vier in balans en twee aan twee parallel geschakelde oscillatorbuizen PL 81, alsmede de triode, de diodes en de verdere onderdelen van de regelinrichting, waarvan fig. 10 het principeschema is.

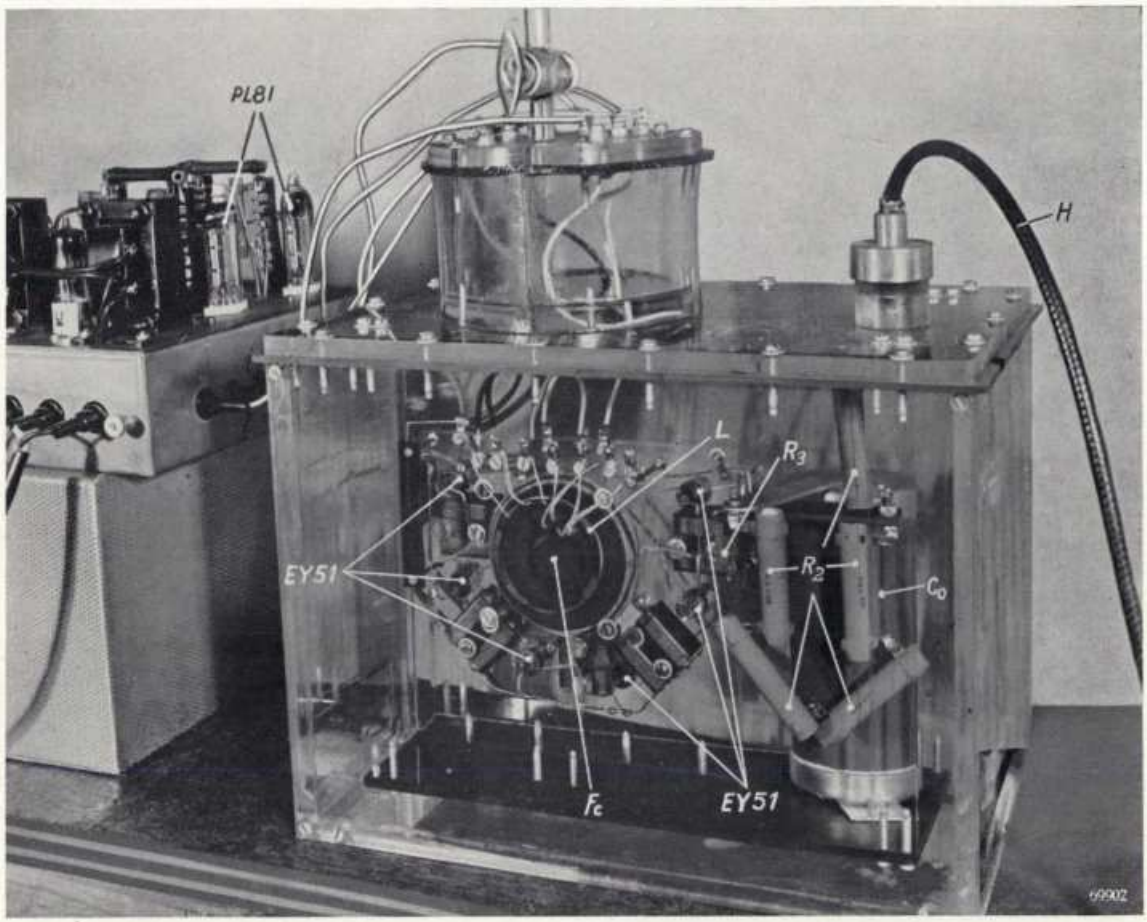

Fig. 13. Experimentele hoogspanningsgenerator voor 50 kV, 1,5 mA. Links boven: chassis met de oscillatorbuizen (PL 81) en de regelinrichting. Midden: met olie gevulde bak, waarin zijn gemonteerd: de oscillatorspoel L (met Ferroxcube-kern Fc), met in een krans er omheen de zes in cascade geschakelde trappen van de gelijkrichter (met diodes EY 51), de buffercondensator C_0 en de beveiligingsweerstanden R_2 en R_3. H is de hoogspanningskabel voor de verbinding met de weergeefbuis.
De bak is van doorzichtig materiaal („Perspex") om het inwendige te kunnen waarnemen.

waardoor kleinere onderdelen (papiercondensatoren, diodes type EY 51) konden worden gebruikt en het geheel compacter gemonteerd.

De uit zes trappen bestaande cascadeschakeling is in een krans om de spoel heen gebouwd, met van links naar rechts toenemende spanning. Dit is gedaan om de verbindingen met de diodes, waarvan de gloeidraden ook hier uit de oscillator worden gevoed, kort te houden. De oscillatorspoel is een normaal gewikkelde spoel, met oliepapier als isolatiemateriaal. De kern is van Ferroxcube. De frequentie bedraagt ongeveer 30 kHz.

In *fig. 14* zijn enige gemeten karakteristieken uitgezet: de afgegeven spanning V_0 en de uit een bron van 1000 V gelijkspanning opgenomen totale anodestroom I_a als functie van de belastingstroom I_0. In tegenstelling tot het vorige geval neemt hier de stroom I_a bij groter wordende belasting toe.

Bij volle belasting is $I_a = 135$ mA. Het rendement is daarbij

$$\frac{50\,000 \times 1{,}5 \cdot 10^{-3}}{1000 \times 135 \cdot 10^{-3}} \times 100\% \approx 56\%.$$

De beschreven regelschakeling zorgt er voor

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

dat de statisch gemeten inwendige weerstand laag genoeg is. Er kunnen zich echter in een televisiebeeld vrij grote heldere partijen voordoen, waarin de bundelstroom de waarde $I_{0\,max}$ verre overschrijdt. Om te voorkomen dat bij deze partijen de versnelspanning te veel zou dalen, is het wenselijk tussen de uitgangsklemmen een buffercondensator aan te brengen. Aangezien bij de projector waarvoor de onderhavige hoogspanningsgenerator was bestemd, uitzonderlijk hoge eisen aan de beeldkwaliteit werden gesteld, is voor de buffercapaciteit de vrij grote waarde van 10 000 pF gekozen. (In vele gevallen echter zal men kunnen volstaan met een kleinere capaciteit.)

De grote energievoorraad die in deze condensator is opgehoopt, zou katastrofale gevolgen hebben bij een doorslag in de weergeefbuis, zoals onvermijdelijk — zij het sporadisch — wel eens voorkomt. Om schade te voorkomen, is een weerstand R_2 aangebracht (fig. 13 en *fig. 15*). Deze is van draad gewonden en heeft daardoor voldoende zelfinductie (0,5 mH) om bij een zeer kort durende doorslag (10^{-8} s) de door de buffercondensator geleverde stroom te beperken tot enige tienden ampère. Bij een wat langer durende doorslag begrenst de weerstand $R_2 = 50\,000\ \Omega$ de stroom tot 1 A. Een tweede weerstand ($R_3 = 0{,}5\ M\Omega$) dient om bij het inschakelen de laadstroom van de buffercondensator C_0 te beperken en daardoor de diodes te beveiligen. De combinatie R_3-C_0 werkt tevens als afvlakfilter.

Het effect van de weerstand R_2 kan duidelijk worden gedemonstreerd door de hoogspanningsgenerator aan te sluiten op een vonkenbaan: zonder de weerstand R_2 geeft iedere doorslag een hevige knal, met de weerstand slechts een zwakke tik. De generator bleek tegen deze proeven goed bestand te zijn.

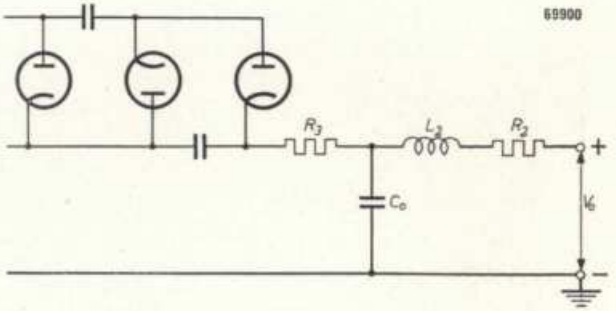

Fig. 15. Schakeling van de buffercondensator C_0 en de beveiligingsweerstanden R_2 en R_3 in de in fig. 13 afgebeelde hoogspanningsgenerator. L_2 zelfinductie van de weerstand R_2. Links een gedeelte van de cascadeschakeling.

Na het eerder vermelde streven om de inwendige weerstand zo klein mogelijk te maken, doet het wellicht vreemd aan, dat deze weerstand door het aanbrengen van R_3 klakkeloos met 0,5 MΩ is vergroot. Deze waarde is echter vrij gering in vergelijking met de inwendige weerstand die aanwezig zou zijn indien de regelaar buiten werking was (ongeveer 10 MΩ). De toevoeging van R_3 heeft dus weinig invloed op het eindresultaat.

Met deze in olie gemonteerde generator is ervaring opgedaan die waardevol is met het oog op eventueel te ontwerpen installaties voor nog hogere spanningen.

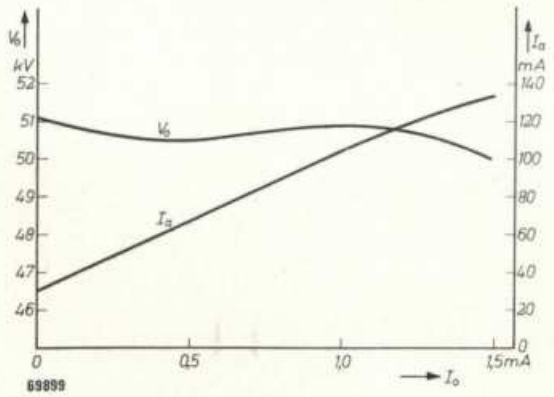

Fig. 14. Gelijkspanning V_0 en uit een bron van 1000 V gelijkspanning opgenomen totale anodestroom I_a als functie van de belastingstroom I_0, voor de in fig. 13 afgebeelde hoogspanningsgenerator.

Samenvatting. Een televisiebeeld dat tegelijk de eigenschappen van grote helderheid, grote scherpte en grote afmetingen bezit, is alleen te verkrijgen met een weergeefbuis die op een zeer hoge versnelspanning werkt. In de handel zijnde ontvangers volgens het projectiesysteem werken met 25 kV, en een in het Philips-laboratorium te Eindhoven uitgewerkte apparatuur die een beeld levert van ongeveer 3 m × 4 m, met 50 kV. Vier methodes om dergelijke spanningen op te wekken passeren de revue. Op één ervan wordt nader ingegaan, en wel op die volgens welke een oscillator, waarvan de spoel bij voorkeur een kern van Ferroxcube heeft, een wisselspanning levert (frequentie 20 tot 30 kHz) die wordt gelijkgericht, in de regel door middel van een cascadeschakeling. Met deze methode is het best te voldoen aan de eisen die aan een hoogspanningsgenerator voor het genoemde doel worden gesteld: gelijkspanning constant tussen nullast en volle belasting, en snel afnemend bij overschrijding van de volle belasting. De gelijkrichter en de oscillator van zulk een systeem worden nader beschouwd, alsmede de maatregelen die men kan nemen ter verkleining van de inwendige weerstand. Aan de hand van twee uitgevoerde, experimentele, generatoren (50 kV, 0,45 mA en 50 kV, 1,5 mA) wordt het besprokene toegelicht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

DRAAGGOLFTELEFONIE OP COAXIALE KABELS

door H. N. HANSEN *) en H. FEINER *).

621.395.44:621.315.212

De coaxiale kabel heeft een twintigtal jaren geleden zijn intrede in de techniek van de draaggolftelefonie gedaan. Het principe van de draaggolftelefonie wordt bij systemen met dit transmissiemedium wel ten top gedreven : over een coaxiale pijp worden gelijktijdig 600 of nog meer gesprekken gevoerd. Het is een voor de hand liggende vraag, welke plaats deze systemen zullen gaan innemen naast de gebruikelijke systemen op normale (symmetrische) kabel, die tegenwoordig hoogstens 48 of 60 kanalen per aderpaar bevatten. Om hierop een antwoord te kunnen geven, worden de belangrijkste economische en technische aspecten van beide soorten systemen belicht.

Inleiding

Aan de draaggolftelefonie ligt de gedachte ten grondslag dat de transmissie van een gesprek via een kabel aanzienlijk goedkoper wordt indien men elk geleiderpaar gebruikt voor meer dan één gesprek tegelijk (meer dan één telefoniekanaal). In een interlocale verbinding veroorzaakt nl. de kabel met de hierin aanwezige geleiderparen meestal het belangrijkste gedeelte van de totale kosten. Het is dus gunstig als men het aandeel van de kabel over een groot aantal kanalen kan omslaan, en het ligt dan voor de hand dat men zich in beginsel ten doel zal stellen het aantal kanalen per geleiderpaar zo hoog mogelijk op te voeren.

Met de zg. symmetrische kabel (exacter gezegd: kabel met symmetrische aderparen) was men omtrent 1930 gekomen tot draaggolftelefoniesystemen met 12 kanalen. Men had echter omstreeks die tijd in Amerika reeds proeven genomen [1]) met een kabeltype waarmee het mogelijk was enige honderden kanalen op een geleiderpaar onder te brengen: de coaxiale kabel (kabel met coaxiale geleiderparen). In 1929 werd te Phoenixville (Penn., U.S.A.) het eerste experimentele „coaxiale draaggolftelefoniesysteem" door de American Telephone and Telegraph Co. geïnstalleerd. Op het ogenblik is in de Verenigde Staten een totale lengte van bijna 20 000 km coaxiale kabel in gebruik, met maximaal 600 kanalen per coaxiaal geleiderpaar. Hoewel dit natuurlijk slechts een fractie is van de totale hoeveelheid in gebruik zijnde telefoonkabel, toont het toch aan, dat de coaxiale kabel hier in betrekkelijk korte tijd zich een plaats heeft weten te veroveren.

Ook in Europa vond deze techniek ingang. In Duitsland, Engeland en Frankrijk werden tussen 1930 en 1940 afzonderlijke installaties op coaxiale kabels in gebruik genomen [2]), naast de toen algemeen gebruikelijke systemen met 12 kanalen op symmetrische kabel. Tijdens en na de Tweede Wereldoorlog kwam, dank zij het initiatief van de Nederlandse P.T.T., de mogelijkheid naar voren om bij zorgvuldig geconstrueerde symmetrische kabels het aantal kanalen per aderpaar ook aanzienlijk uit te breiden, nl. van 12 of 24 tot 48 [3]). Dit feit deed natuurlijk zijn invloed gelden op de ontwikkeling van een Europees coaxiaal net, het nam echter niet weg dat belangstelling voor coaxiale systemen in Europa bleef bestaan, en men constateert dat deze belangstelling voortdurend stijgende is. In Engeland is nu reeds een aanzienlijk aantal coaxiale systemen in bedrijf en op het continent is vooral de Franse P.T.T. op dit gebied zeer actief.

Met het oog op deze feiten en in verband met een eigen ontwikkeling die op het ogenblik aan de gang is [4]), lijkt het ons gewenst in dit tijdschrift een kort overzicht te geven van de grondslagen, mogelijkheden en beperkingen van de draaggolftelefonie op coaxiale kabels.

*) N.V. Philips' Telecommunicatie Industrie, Hilversum.

[1]) Bell Lab. Record **27**, 234, 1949 (Coaxial cable's 20th anniversary). Zie verder L. Espenschied en M. E. Strieby, Systems for wide band transmission over coaxial lines, Bell Syst. Techn. J. **13**, 654-679, 1934.

[2]) Siemens Veröff. a.d. Geb. d. Nachr. **6**, nummer van 28 Jan. 1937 (reeks artikelen).
A. H. Mumford, The London-Birmingham coaxial cable system, The Post Office Electrical Engineers' Journal **30**, 206, 270, 1938; **31**, 51, 132, 1938.
R. Sueur, L'évolution de la technique des lignes à grande distance depuis 15 ans, Ann. Télécomm. **6**, 146-164, 1951.

[3]) G. H. Bast, D. Goedhart en J. F. Schouten, Een draaggolftelefonie-systeem voor 48 kanalen, I. De keuze van de modulatiemethode, Philips techn. T. **9**, 161-171, 1947.

[4]) J. F. Klinkhamer, Een supergroepdoorschakelfilter voor draaggolftelefonie op coaxiale kabels, Philips techn. T. **13**, 196-208, 1951 (No. 7).
H. N. Hansen, A new supergroup modulation scheme for coaxial cable telephone systems, Comm. News **12**, 1-9, 1951 (No. 1).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Algemene opbouw van een draaggolftelefoniesysteem

In een draaggolftelefoniesysteem onderscheiden wij drie hoofdgedeelten: de eindapparatuur, de kabel en de lijnapparatuur (*fig. 1*). De eindapparatuur bevat voor elk geleiderpaar een modulatiesysteem, waardoor aan de zendzijde de frequentieband van elk op dit paar over te brengen gesprek verschoven wordt naar een bepaald, hoger gelegen frequentiegebied, terwijl aan de ontvangzijde een geheel analoog demodulatiesysteem de gesprekken uit hun individuele „kanalen" (elk ter breedte van gewoonlijk 4 kHz) terugbrengt tot de oorspronkelijke lage frequenties. Op de modulatie zullen wij hier niet diep ingaan, wij vermelden alleen dat deze gewoonlijk in drie trappen geschiedt: 12 laagfrequente kanalen worden door transpositie naar hogere frequenties tot een groep verenigd, 5 groepen bundelt men door een tweede transpositie tot een supergroep, waarna men — als er meer dan 60 kanalen zijn — elk van de gevormde supergroepen nog naar een definitief frequentiegebied moet verschuiven.

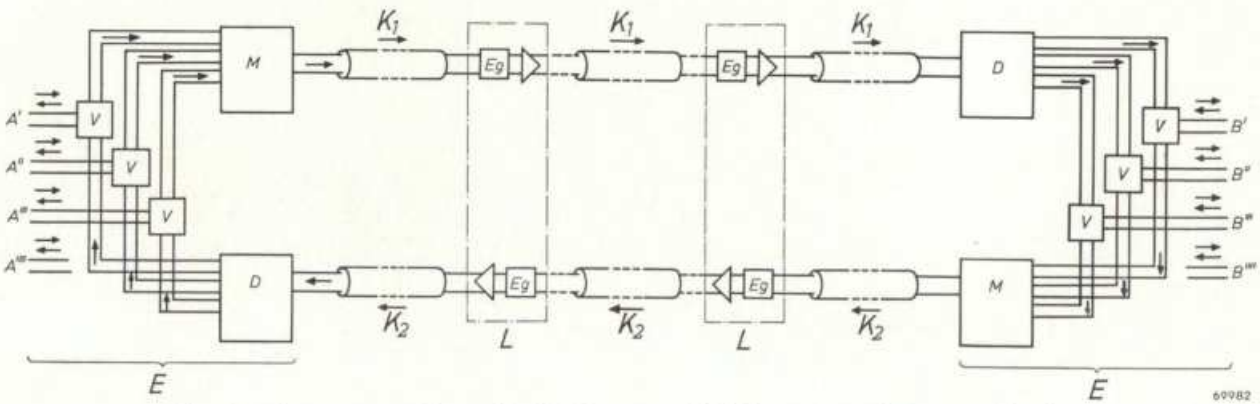

Fig. 1. Opbouw van een draaggolftelefoniesysteem. *E* eindapparatuur. Hierop worden de lijnen van abonné's *A'*, *A''*,... resp. *B'*, *B''*,... aangesloten, via „vorken" *V* die de signalen voor de beide spreekrichtingen scheiden. De uitgaande signalen passeren de modulatieapparatuur *M*, de binnenkomende de vrijwel identieke demodulatie-apparatuur *D*. K_1, K_2 kabels, in dit geval gescheiden voor de beide spreekrichtingen. *L* lijnapparatuur, ondergebracht in versterkerstations die voor elk geleiderpaar van de kabel een egalisatienetwerk *Eg* en een versterker bevatten.

De geleiderparen voor de beide spreekrichtingen tussen twee stations worden bij de tot dusverre gebruikelijke systemen op symmetrische kabels gewoonlijk in gescheiden kabels ondergebracht.

De voortplanting van de wisselspanningen der gesprekken over de geleiderparen gaat onvermijdelijk met verliezen gepaard, er treedt een demping op. Deze kabeldemping wordt gecompenseerd door de lijnapparatuur, geplaatst in versterkerstations, die op regelmatige afstanden (sectielengten) de kabels onderbreken. Voor elk geleiderpaar is in het versterkerstation een versterker en een egalisatienetwerk aanwezig. Het laatste dient er toe, de frequentiekarakteristiek van de kabel en van de versterker bij elkaar aan te passen, zodanig dat de signalen van alle kanalen precies even veel worden versterkt als zij in de voorafgaande kabelsectie zijn verzwakt.

Het aantal kanalen per geleiderpaar

Het opvoeren van het aantal kanalen per geleiderpaar, dat in de inleiding als doel werd vooropgesteld, komt neer op een vergroten van de totale bandbreedte der over te brengen signalen. Nu vindt men altijd dat de kabeldemping toeneemt met de frequentie. Bij het opvoeren van de totale bandbreedte heeft men dus grotere versterkingen per km van een gegeven traject nodig.

Hieruit vloeit voort dat met toenemend aantal kanalen per geleiderpaar in het algemeen de lijnversterkers dichter bij elkaar moeten worden geplaatst. Men kan dit als volgt inzien. Het signaal mag op de ingang van een versterker niet dermate verzwakt aankomen dat het een hinderlijke storing ondervindt van het thermische ruisen van de kabel en van de eerste versterkbuis. Er is dus een minimaal toelaatbaar ingangsniveau. Anderzijds wordt het uitgangsniveau van een lijnversterker begrensd door het beperkte vermogen van de in aanmerking komende eindbuizen. De door één lijnversterker te leveren versterking ligt dus vast, en door dit getal te delen door de per km benodigde versterking komt men direct tot de vereiste sectielengte.

De verkleining van de sectielengte bij uitbreiding van het aantal kanalen per geleiderpaar behoeft op zichzelf niets af te doen aan de economische rechtvaardiging van zulk een uitbreiding: de be-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

sparing aan kabelkosten per kanaal kan ter dege opwegen tegen een toeneming van het aantal versterkers, en bovendien zal, per kanaal gerekend, het aantal lijnversterkers volgens de gegeven beschouwing ook kleiner worden, aangezien de toeneming van de kabeldemping (vereiste versterking) minder snel dan evenredig met de frequentie gaat (men vindt veelal dat de demping met de wortel uit de frequentie stijgt).

Er zijn echter diverse factoren die de zaak minder gunstig maken. Hoe meer versterkerstations in een traject geschakeld worden, des te vaker wordt de storing, die het ruisen in het verzwakte signaal aan de ingang van een versterker veroorzaakt (en die mee wordt versterkt), opgeteld; men moet derhalve, in het geval van meer versterkers, uitgaan van een hoger minimaal niveau dat het signaal aan de ingang van elke versterker moet hebben. Tevens daalt het bereikbare uitgangsniveau van de versterker, daar het totale beschikbare uitgangsvermogen met toenemende frequentie afneemt en bovendien over een groter aantal kanalen wordt verdeeld. De invloed van deze factoren is belangrijk : zo bedraagt bij een 48-kanalensysteem de versterking van een lijnversterker ongeveer 65 dB, bij coaxiale systemen met 960 kanalen niet meer dan 50 dB. Hierdoor is dus een extra verkorting van de sectielengte noodzakelijk, en het zal begrijpelijk zijn dat bij steeds verdere uitbreiding van het aantal kanalen de vereiste versterkers ten slotte roet in het eten gooien, dwz. het oorspronkelijke economische voordeel in een nadeel doen verkeren.

Bij de op het ogenblik gebruikelijke systemen, voor symmetrische zowel als voor coaxiale kabels, is men nog lang niet toe aan deze economische grens. Het zijn voorlopig veeleer technische factoren die het aantal kanalen per aderpaar beperken, en wel principieel: de eigenschappen van de ter beschikking staande onderdelen (voor coaxiale systemen vooral van de versterkbuizen) stellen een grens, die niet opgeschoven kan worden door voor de hand liggende maatregelen als bijv. het vergroten van het aantal buizen per versterker. Wij hopen dat dit in hetgeen volgt duidelijk zal worden.

De symmetrische telefoonkabel

Beschouwen wij eerst de situatie bij de symmetrische kabel. Deze bevat een aantal geleiderparen die vaak twee aan twee tot zogenaamde stergroepen zijn verenigd. *Fig. 2* toont de opbouw van een kabel bestaande uit 12 stergroepen, die op grote schaal bij de Nederlandse P.T.T. in gebruik is. Het diëlectricum tussen de verschillende aders bestaat uit papier en lucht. De gezamenlijke aders zijn omgeven door een mantel van lood, die de nodige bescherming tegen vocht verleent, en door verdere lagen voor de mechanische bescherming.

Het verloop van de kabeldemping als functie van de frequentie wordt voor zulk een symmetrische kabel gegeven door *fig. 3*. De absolute waarde van de demping hangt ceteris paribus natuurlijk nog af van de aderdiameter. Welke aderdiameter men zal kiezen, wordt binnen zekere grenzen — die verband houden met mechanische en electrische eisen — door economiebeschouwingen bepaald: bij grotere aderdiameter wordt de kabel duurder maar de demping wordt minder en dus het vereiste

Fig. 2. Einde van een doorgesneden symmetrische kabel. Deze bevat 24 aderparen, die twee aan twee tot stergroepen zijn verenigd. De isolatie tussen de aders is papier en lucht, het geheel is omgeven door een mantel van lood; hier omheen is, tussen (o.a.) twee lagen jute, nog een „wapening" in de vorm van een er op gewikkeld stalen band aangebracht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

aantal lijnversterkers kleiner. Het gunstigste compromis hangt van de koper- en loodprijzen enz. af. De gebruikelijke aderdiameters liggen tussen 0,9 en 1,3 mm. Voor een aderdiameter van 1,3 mm bedraagt de demping bij 200 kHz ongeveer 2,4 dB/km. Bij een versterking van 60 dB per versterkerstation leidt dit tot een versterkerafstand van 25 km.

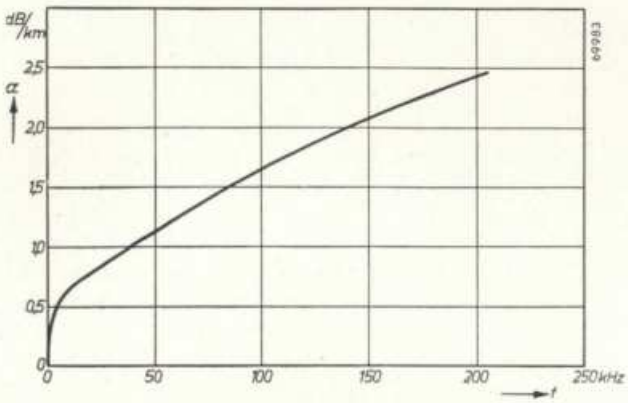

Fig. 3. Dempingskarakteristiek van een kabel van het symmetrische type met een aderdiameter van 1,3 mm. Uitgezet is de kabeldemping α in dB/km als functie van de frequentie f in kHz.

Dit zijn inderdaad ongeveer de waarden waarop het in Nederland en elders ingevoerde 48-kanalensysteem is gebaseerd (frequentieband 12-204 kHz, sectielengte ca 26 km).

Veel verder kon tot nu toe het aantal kanalen bij de symmetrische kabel niet worden opgevoerd ten gevolge van het overspreken. Dit verschijnsel — het op elkander induceren van stoorspanningen door de verschillende geleiderparen die in een kabel aanwezig zijn — is een gevolg van de capaciteiten en wederzijdse inducties tussen de afzonderlijke geleiderparen. Het overspreken in een symmetrische kabel neemt met toenemende frequentie van de signaalspanningen toe. Met behulp van allerlei voorzorgsmaatregelen bij het vervaardigen en regelen (balanceren) van de kabel, waarop wij hier niet nader kunnen ingaan [5]), heeft men het overspreken bij moderne kabels van het symmetrische type zover weten te reduceren dat het tot 250 à 300 kHz de toelaatbare waarde niet overschrijdt, waardoor men tot 60 of tot 72 kanalen per aderpaar kan gaan. Misschien zal in de toekomst deze grens nog enigszins omhooggeschoven kunnen worden, doch zelfs bij de meest optimistische verwachtingen dienaangaande wordt niet aan meer dan bijv. 120 kanalen per aderpaar gedacht.

[5]) Zie: L. J. E. Kolk, Het balanceren van draaggolfkabels voor 48-kanalen-systemen, PTT-Bedrijf **3**, 59-74, 1950.

Voor de gehoopte uitbreiding van het aantal kanalen zal een zeer verfijnde balanceertechniek ontwikkeld moeten worden. Men denkt hiervoor aan regelbare, in de kabel te schakelen, balanceerelementen.

De inspanning die men zich thans in deze richting getroost, is gestimuleerd door het feit dat men dank zij nieuwe kabelconstructies de bedoelde uitbreiding ten uitvoer zou kunnen leggen zonder tot een verkorting van de versterkerafstand te moeten overgaan. De demping van de tot dusverre gebruikelijke symmetrische kabels is nl. voor een deel te wijten aan diëlectrische verliezen in de papierisolatie (die vooral bij frequenties in de buurt van 200 kHz merkbaar beginnen te worden, waar de verlieshoek tg δ = ca $120 \cdot 10^{-4}$ is). Op het ogenblik hebben verscheidene fabrikanten symmetrische kabels in ontwikkeling met als isolatiemateriaal polytheen, styroflex of polystyrolschuim, die deels door de kleinere diëlectrische constante, deels dank zij veel geringere diëlectrische verliezen (tg δ = ca $3 \cdot 10^{-4}$ en minder) een demping hebben die bij hoge frequenties veel lager is dan bij de papierkabel: de demping van de kabels met schuimisolatie zal pas bij ongeveer 500 kHz die waarde bereiken die de kabels met papierisolatie bij 250 kHz vertonen.

De coaxiale telefoonkabel

Een coaxiaal geleiderpaar wordt gevormd door een koperen draad (binnengeleider of kern) in de as van een geleidende cylinder (buitengeleider of mantel). Deze laatste is meestal eveneens van koper, soms van het goedkopere aluminium. Een aantal dergelijke coaxiale geleiderparen, of zoals men ook zegt, coaxiale pijpen, worden verenigd tot een kabel,

Fig. 4. Einde van een doorgesneden coaxiale kabel van een in Amerika veel gebruikt type. Men ziet dat deze, rond een kern met een aantal normale aderparen, acht coaxiale pijpen bevat, die schroefvormig om de kern gelegd zijn. Het geheel is weer omgeven door een mantel van lood en andere beschermende lagen.

de coaxiale kabel, die daarnaast vaak nog enkele normale aderparen zal bevatten voor dienstgesprekken, alarmering, enz. *Fig. 4* geeft de opbouw van een in Amerika veel gebruikt coaxiaal kabeltype weer, dat 8 coaxiale pijpen bevat. De diameters

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

d resp. D van de binnen- en buitengeleider van elke pijp (*fig. 5*) staan bij alle coaxiale telefoonkabels met koperen buitengeleider ongeveer in de verhouding

$$\frac{D}{d} = 3{,}6 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Internationaal genormaliseerd is een kabeltype met $d = 2{,}6$ mm, $D = 9{,}4$ mm ($^3/_8$ inch). De binnengeleider wordt in de as van de buitengeleider gehouden door schijfjes van bijv. polytheen, die er

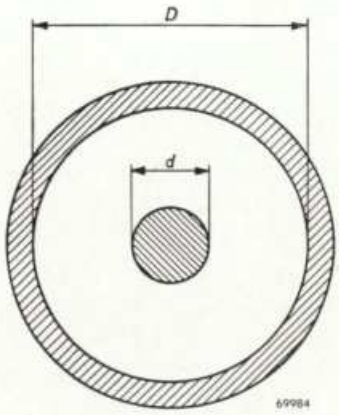

Fig. 5. Doorsnede van een coaxiale pijp. De diameters D en d worden ongeveer in de verhouding 3,6 : 1 gekozen.

op onderlinge afstanden van ongeveer 2,5 cm op zijn aangebracht, of door wenteltrapvormige banden van polytheen of van styroflex of derg. Verder is de coaxiale pijp gevuld met lucht, of met een ander gas dat men in de kabel pompt.

De motivering van de voorwaarde (1) alsmede een korte uiteenzetting over de transmissie-eigenschappen van de coaxiale pijp vindt men in een Aanhangsel van dit artikel.

Wij kunnen nu met enkele woorden zeggen wat de oorzaak is waardoor men bij de coaxiale kabel is kunnen overgaan tot zoveel grotere aantallen kanalen dan bij de symmetrische: *bij de coaxiale kabel neemt het overspreken tussen de geleiderparen met toenemende frequentie niet toe doch af.*

Men kan dit gemakkelijk begrijpen. Wanneer een wisselstroom door een coaxiaal geleiderpaar vloeit, is, ten gevolge van het huideffect, de stroomdichtheid het grootst aan de buitenomtrek van de binnengeleider en aan de binnenomtrek van de buitengeleider. De buitenomtrek van de pijp is bij voldoend hoge frequentie van de wisselstroom nagenoeg stroomloos, en tussen twee punten op het buitenoppervlak treden dus slechts minieme wisselspanningen op. Beschouwen wij de inwerking van deze kleine spanningen op een naburige pijp, dan zien wij dat het huideffect daar nog eens in gunstige zin werkzaam is, want de op die pijp geïnduceerde stromen hebben nu juist een stroomdichtheid die het grootst is aan de buitenomtrek van de buitengeleider. Naar binnen toe neemt de stroomdichtheid snel af, hetgeen betekent dat de storing vrijwel niet doordringt tot de eigenlijke transmissieketen. Er is dus weinig overspreken, en te minder naarmate de signaalfrequentie hoger ligt: de buitengeleider van elke pijp schermt als het ware zijn pijp van de buitenwereld af.

Behalve de consequentie dat men bij de coaxiale pijp tot willekeurig hoge signaalfrequenties kan gaan, vloeit uit het gunstige gedrag wat betreft het overspreken ook nog voort dat het mogelijk is (en het is dan ook algemeen gebruikelijk) de pijpen voor de beide transmissierichtingen binnen één loodmantel onder te brengen. Wegens het grote verschil van signaalniveau op naast elkaar gelegen binnenkomende en uitgaande geleiderparen bij een versterkerstation mag hiertussen slechts zo weinig overspreken worden toegelaten, dat men bij symmetrische kabels deze geleiderparen geheel moet scheiden en dus voor een complete verbinding in het algemeen twee kabels nodig heeft.

Uit de gegeven beschouwing ziet men dat het overspreken desgewenst nog kan worden verminderd door aan de buitengeleider een grotere wanddikte te geven. Aangezien dit natuurlijk sterk voelbaar zou worden in de kabelkosten, zal men voor de coaxiale kabel de laagste over te brengen frequentie, waarvoor het overspreken het sterkst is, vrij hoog kiezen. Kwantitatief kan men deze situatie overzien met behulp van de formule voor de indringdiepte ϑ van de wisselstroom, d.i. de diepte in de geleider waarop de stroomdichtheid tot de fractie 1/e is gedaald. Voor een koperen geleider met een soortelijke weerstand ϱ (in Ω m) en relatieve permeabiliteit μ_r geldt:

$$\vartheta = \frac{1000}{2\pi}\sqrt{\frac{\varrho}{\mu_r f}}\ \text{mm} = \frac{C}{\sqrt{f}}\ \text{mm}. \quad . \quad (2)$$

De frequentie f moet hierin worden uitgedrukt in kHz. Voor koper vindt men $C \approx 2{,}1$, voor aluminium $C \approx 2{,}75$. Men ziet dat een frequentie van de orde van 100 kHz nodig is als men wenst dat de stroom niet dieper dan enige tienden mm in de geleider dringt, resp. als men voor de afscherming met een wanddikte van enige tienden mm wenst te kunnen volstaan. Bij coaxiale systemen begint dan ook de over te brengen frequentieband nooit lager dan bij 60 kHz, vaak hoger [6]).

[6]) Uit verg. (2) ziet men dat een hoge permeabiliteit de indringdiepte verkleint. Voor ijzer vindt men $C \approx 0{,}3$. Om koper te besparen, omwikkelt men derhalve de buitengeleider soms met een stalen band.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De bovenste grens van de gebruikte frequentieband ligt bij de tot dusverre geïnstalleerde coaxiale draaggolfsystemen bij ca 2,8 MHz (660 kanalen). De normalisatie door het C.C.I.F. heeft reeds voorzien in een band tot ruim 4 MHz (zie *fig. 6*) en er wordt gewerkt aan transmissie van banden tot 8 MHz. Natuurlijk wordt daarbij de kabeldemping per km steeds groter, zodat men tot steeds kortere versterkerafstanden moet overgaan. Wij hebben echter reeds laten zien dat dit geen economisch nadeel waarbij f weer in kHz gemeten wordt en D, de binnendiameter van de buitengeleider van de coaxiale pijp, in cm. Voor de reeds genoemde genormaliseerde waarde $D = 0{,}94$ cm is de kabelkarakteristiek in *fig. 7* grafisch voorgesteld. Bij een frequentie van 4 MHz krijgt men een demping van 4,8 dB/km. Per lijnversterker mag men in dit geval met een versterking van 50 dB rekenen (hierin begrepen enige dB voor reserve). De nodige versterkerafstand wordt dan ca 9,5 km.

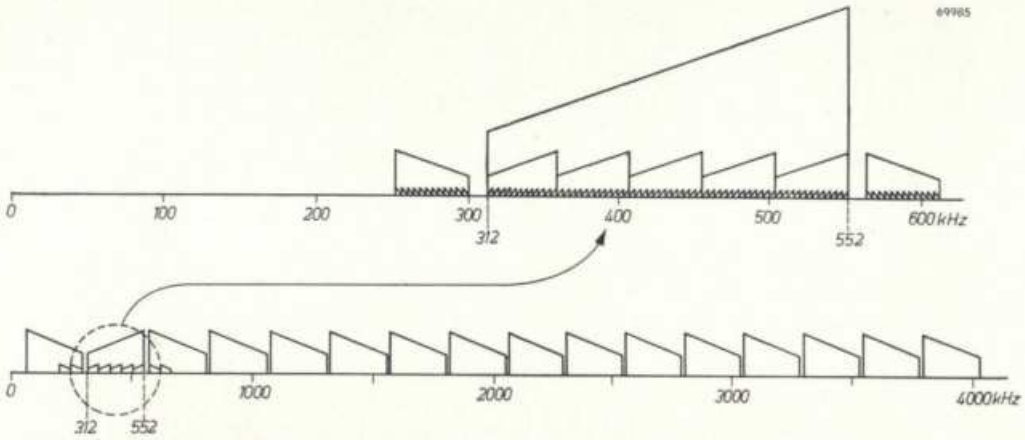

Fig. 6. Door het C.C.I.F. genormaliseerde frequentieligging der 16 supergroepen van een coaxiaal systeem met 960 kanalen. Het door een stippellijn omringde stuk is er boven nogeens op grotere schaal getekend, zodat men de ligging van de 5 groepen in elke supergroep en van de 12 afzonderlijke kanalen (ieder ter breedte van 4 kHz) in elke groep kan zien.

behoeft te betekenen, o.a. doordat de kabeldemping a minder dan evenredig met de frequentie oploopt. Voor de coaxiale kabel vindt men met zeer goede

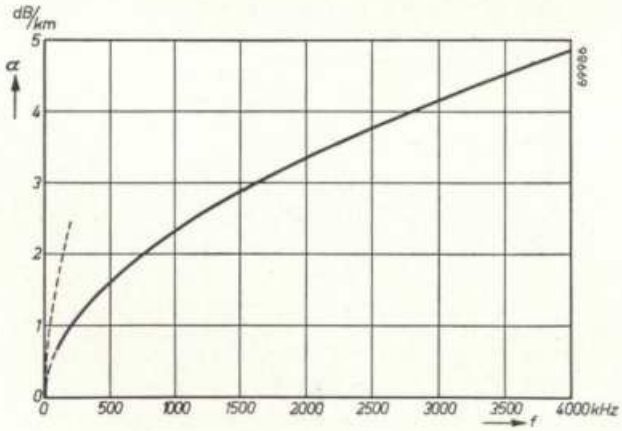

Fig. 7. Dempingskarakteristiek van een coaxiale pijp waarvan de buitengeleider een binnendiameter $D = 0{,}94$ cm heeft. De stippellijn is de dempingskarakteristiek uit fig. 3.

benadering dat de demping toeneemt met de wortel uit de frequentie. Bij de gebruikelijke coaxiale kabels met luchtisolatie geldt:

$$a = \frac{0{,}07}{D}\sqrt{f}\ \text{dB/km}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Uit een oogpunt van economie zou men nog tot aanzienlijk hogere frequenties en kleinere sectielengten kunnen gaan. Een grens wordt nu echter hieraan gesteld door moeilijkheden die ontstaan in de lijnapparatuur.

De lijnapparatuur voor coaxiale draaggolfsystemen

In *fig. 8* is een even lang stuk van het traject van twee verschillende verbindingen in beeld gebracht, de ene werkend met een normale symmetrische kabel van 12 stergroepen, dus 24 aderparen, de andere met één enkele coaxiale pijp. Voor het eerste geval onderstellen wij dat elk aderpaar 60 kanalen draagt, dus totaal 1440, met een bijbehorende sectielengte van ca 23 km; in het tweede geval nemen we op het enige geleiderpaar 960 kanalen aan, waarbij een sectielengte van ca 9,5 km behoort.

Wat uit de figuur het sterkst spreekt, is de vermindering van hoeveelheid kabelmateriaal en hoeveelheid lijnapparatuur die men in het tweede geval boekt, bij een vergelijkbaar totaal aantal kanalen. Op één gesprek (heen- en teruggaand kanaal) en één km trajectlengte komt bij het symmetrische systeem $2/(60 \cdot 23) \approx 1/700$ lijnver-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

sterker, bij het coaxiale systeem $2/(960 \cdot 9{,}5) \approx 1/4500$ lijnversterker.

Het is echter niet onze bedoeling, op deze wijze nog eens het economische voordeel van de coaxiale kabel te demonstreren. (Om dit objectief te doen, zouden wij immers o.a. ook de hogere kosten van één coaxiaal geleiderpaar en één bijbehorende lijnversterker, vergeleken met één aderpaar en één lijnversterker van de symmetrische kabel, in een ramp worden gekwalificeerd. Er moet dus in elk versterkerstation worden gezorgd voor de nodige reserves, eventueel zal men zelfs een stel volledig geïnstalleerde coaxiale pijpen in reserve houden. In de tweede plaats wat betreft de stabiliteit. Bij een lange internationale verbinding doorloopt elk kanaal talrijke versterkers en egalisatienetwerken in cascade, elke versterker mag daarom slechts zeer weinig in versterking veranderen, wil

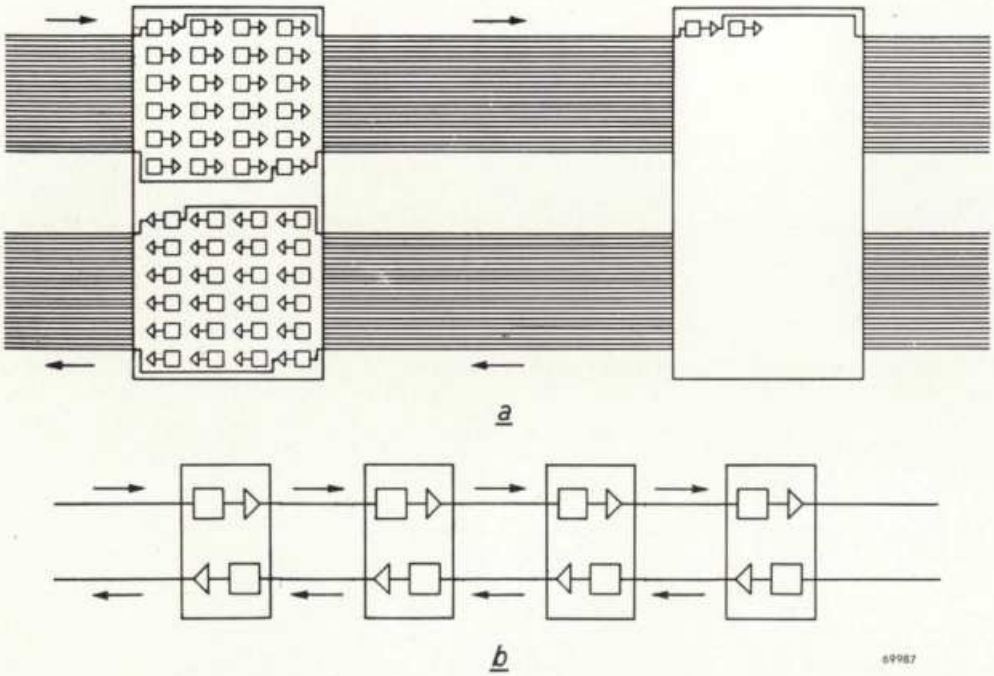

Fig. 8. *a*) Kabel en lijnapparatuur voor een 60-kanalen-systeem op een symmetrische kabel met 12 stergroepen; totaal $60 \times 24 = 1440$ kanalen.
b) Kabel en lijnapparatuur voor een coaxiaal systeem met een enkele coaxiale pijp; 960 kanalen.

rekening moeten brengen.) Het is veeleer begonnen om enige andere dingen die men uit de figuur afleest: bij het coaxiale systeem draagt elke versterker bij tot het aan de gang houden van 960 gesprekken, bij het symmetrische slechts tot 60. Bij het coaxiale systeem doorloopt elk gesprek (heen en teruggaande spreekrichting) rond 6 versterkers per 25 km, bij het symmetrische slechts 2. Bij het coaxiale systeem zijn ten slotte de versterkers minder geconcentreerd opgesteld, de lijnapparatuur is als het ware uitgesmeerd over de kabel.

Deze verschillen brengen mee dat aan de lijnapparatuur voor de coaxiale kabel in bepaalde opzichten hogere eisen worden gesteld dan aan die voor de symmetrische. In de eerste plaats wat betreft de bedrijfszekerheid. Het defect raken van één versterker, waardoor 960 kanalen uitvallen, zou in de telefoontechniek als weinig minder dan het niveau aan de ontvangzijde niet ontoelaatbare variaties vertonen. In het bedoelde coaxiale systeem worden wegens het grote aantal versterkers in cascade dan ook zeer strenge stabiliteitseisen aan elke versterker gesteld. Ten derde de lineariteit. Het niet geheel lineair zijn van de karakteristiek van sommige onderdelen van de versterkers — vooral de buizen — geeft aanleiding tot intermodulatie, dwz. er ontstaan combinatietonen waardoor de verschillende kanalen elkaar storen. Dit effect uit zich voornamelijk als een geruis, het intermodulatiegeruis, dat cumulatief erger wordt naarmate men meer versterkers in een verbinding achter elkaar schakelt. Ook in dit opzicht verkeert dus het coaxiale systeem in een ongunstige situatie.

Aan de lineariteitseisen kan men voldoen — en tegelijk aan de eisen wat betreft de stabiliteit — door in de versterkers een sterke tegenkoppeling

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

toe te passen. Men moet aldus in elke versterker een versterkingsfactor van ca 30 à 40 dB opofferen. Dit komt bijzonder ongelegen met het oog op het feit dat men bij de grote bandbreedte van het 960 kanalen-systeem slechts een betrekkelijk geringe versterking per versterkertrap kan bereiken. Hierdoor wordt ten slotte zelfs een principiële grens aan het aantal kanalen gesteld. De parasitaire capaciteiten nl. van versterkbuizen, ingangs- en uitgangstransformatoren, enz. — die verantwoordelijk zijn voor de daling van de versterking met toenemende bandbreedte — veroorzaken ook een met de frequentie toenemende fazedraaiing, welke maakt dat voor een gegeven bandbreedte een tegenkoppeling slechts over een bepaald aantal versterkertrappen mogelijk is, in casu over drie. Als men verschillende groepen van drie trappen in serie wil schakelen, moet men over elke groep de genoemde 30 à 40 dB verliezen. Het is duidelijk dat dan in het geheel geen versterking meer kan worden verkregen als de bereikbare bruto versterking per groep op zichzelf al beneden 30 à 40 dB blijft. Verhoging van de grens die hierdoor aan de bandbreedte van coaxiale systemen wordt gesteld, zal slechts mogelijk zijn als de eigenschappen van de beschikbare versterkbuizen (vooral de capaciteiten en de steilheid) alsook van andere onderdelen een verbetering ondergaan [7]).

Dit zijn de belangrijkste factoren die voorlopig een belemmering vormen als men het frequentiegebied van de coaxiale kabel aanzienlijk verder zou willen uitbreiden.

Het „uitsmeren" van de lijnapparatuur over de coaxiale kabel, waarop wij bij fig. 8 nog hebben gewezen, is in deze beschouwingen niet van invloed, maar het is practisch van groot belang door de consequenties die het heeft voor de voeding van de lijnversterkers. Het is bij draaggolftelefoniesystemen op symmetrische kabels gebruikelijk de lijnapparatuur uit het plaatselijke electriciteitsnet te voeden, terwijl er voor gezorgd wordt dat bij een storing van dit net een accubatterij of motoraggregaat de voeding automatisch overneemt. Gezien de talrijke, op korte afstanden geplaatste, versterkerstations van een coaxiaal systeem, is het echter economisch weinig aanlokkelijk, elk er van te voorzien van een dergelijke reserve-installatie. De elegante oplossing die men voor dit probleem gevonden heeft, bestaat hierin, elke versterker te voeden via de coaxiale kabel zelf, nl. door een wisselspanning met de netfrequentie, die via de binnengeleiders van de coaxiale pijpen wordt toegevoerd. Deze wisselspanning wordt geleverd door de zg. voedende stations, die zich op onderlinge afstanden tot 300 km in het kabeltraject bevinden en waarin dan een volledige reserve-apparatuur aanwezig is. Aldus wordt de voedingsapparatuur, gerekend per versterkerstation, toch zeer eenvoudig en goedkoop. De oplossing is ook daarom zeer doeltreffend, omdat hiermee het koper van de massieve binnengeleider, dat, op een dunne schil na, bij de eigenlijke transmissie geen dienst doet, volledig wordt benut. Een niet te verwaarlozen factor ten slotte is, dat men dank zij deze methode coaxiale verbindingen kan leggen door onbewoonde landstreken, waar eventueel over een afstand van honderden km geen electriciteitsnet aanwezig is.

Een ander probleem dat in de coaxiale lijnapparatuur naar voren treedt en dat wij hier even willen aanstippen, is de variatie van de kabeldemping (α) met de temperatuur (T). Deze variatie is daaraan te wijten dat de factor die in verg. (3) vóór $\sqrt{f}$ staat en waarin o.a. de soortelijke weerstand van het koper is verwerkt, met de temperatuur verloopt. Wat nu ook de temperatuurafgeleide van die factor zijn mag, in ieder geval krijgen wij voor $d\alpha/dT$ een uitdrukking die vermenigvuldigd wordt met $\sqrt{f}$. Dit betekent dus dat temperatuurschommelingen van de kabel aanzienlijk sterkere niveauvariaties bij hoge frequenties zullen veroorzaken dan bij lage. Men heeft deze niveauvariaties bij coaxiale systemen tot toelaatbare waarden teruggebracht door op regelmatige afstanden een deugdelijke, automatisch werkende temperatuurcompensatie aan te brengen, die bestuurd wordt met behulp van de zg. lijnpilootsignalen.

Het probleem van het doorschakelen

Als men draaggolfsystemen op coaxiale en op symmetrische kabels op hun economie wil beoordelen, dan behoort daartoe ook het gedrag in de practijk, met name de „flexibiliteit" van de systemen, te worden beschouwd. Een draaggolfsysteem maakt meestal deel uit van een min of meer uitgebreid interlocaal telefoonnet. In elk knooppunt zal het in het algemeen gewenst zijn een meer of minder groot aantal kanalen af te takken. Er moet rekening worden gehouden met de mogelijkheid dat dit aantal niet constant is: in verband met belangrijke gebeurtenissen kan een tijdelijke wijziging van de verdeling der kanalen nodig zijn; er kan ook een geleidelijk verloop van het nodige aantal kanalen in een knooppunt optreden, in verband bijv. met een gestadige toeneming van het aantal abonné's en de

[7]) Over de realiseerbare tegenkoppeling en versterking bij gegeven bandbreedte, zie: H. W. Bode, Network analysis and feedback amplifier design, Van Nostrand, New York 1945. Verder: J. te Winkel, A note on the maximum feedback obtainable in an amplifier of the cathode-feedback type, Philips Res. Rep. **5**, 1-5, 1950. — In dit verband zij nog opgemerkt dat de toepassing van Ferroxcube als kernmateriaal voor de in- en uitgangstransformatoren van de versterkers reeds een belangrijke stap vooruit heeft betekend.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

invloed van de automatisering van het interlocale telefoonverkeer. Zo heeft een interlocaal net in feite een dynamische structuur, die van de te installeren draaggolfsystemen een zekere mate van aanpasbaarheid verlangt.

Systemen met 12 tot 60 kanalen per aderpaar, zoals die op symmetrische kabels worden toegepast, voldoen voortreffelijk aan deze eis. Door het eenvoudig aftakken van aderparen kan men in elk knooppunt de verdeling der kanalen behoorlijk aanpassen bij de behoefte. Het coaxiale systeem daarentegen openbaart hier le défaut de ses qualités: juist door het feit dat elke coaxiale pijp zoveel honderden kanalen draagt, kan men hierbij door mechanisch aftakken van pijpen de verdeling der kanalen in een knooppunt slechts in sprongen van ettelijke honderden kanalen regelen, zodat op deze wijze geen bevredigende aanpassing te verkrijgen is.

Dit probleem is enige maanden geleden uitvoerig in dit tijdschrift besproken (zie het eerste in [4]) aangehaalde artikel). Daar is aangetoond dat de mogelijkheid bestaat „groepen" van 12 kanalen of „supergroepen" van 60 kanalen, die bij de modulatie in de eindapparatuur van een coaxiaal systeem zijn gevormd, in een knooppunt af te takken of „door te schakelen" met behulp van speciale doorschakelfilters. De methode houdt in, dat in een knooppunt alle binnenkomende supergroepen van een coaxiale pijp moeten worden gedemoduleerd tot hun zg. basispositie (312-552 kHz), terwijl dan de doorgaande supergroepen na doorlopen van een doorschakelfilter opnieuw worden gemoduleerd en op de uitgaande kabel worden gebracht.

Hoewel deze werkwijze in beginsel voor het coaxiale systeem de mogelijkheid schept de soepelheid van de systemen met bijv. 12 of 48 kanalen te benaderen, valt niet te ontkennen dat door de vereiste extra apparatuur in de knooppunten de economie van het coaxiale systeem weer in ongunstige zin wordt beïnvloed. Er bestaat daarom een neiging het probleem op eenvoudiger wijze op te lossen, nl. door, in een knooppunt, parallel op de kabel een demodulatie-appatuur aan te sluiten die de voor dit knooppunt bestemde supergroepen demoduleert, terwijl de frequentiebanden van deze supergroepen verderop op de kabel niet meer worden gebruikt (men spreekt wel van „telescopen"). Men gebruikt dan echter niet over de gehele kabellengte de gehele beschikbare frequentieband en geeft dus het fundamentele voordeel van de coaxiale kabel gedeeltelijk prijs.

Een geheel andere mogelijkheid die thans onder ogen wordt gezien, behelst een ruimere spatiëring der supergroepen, waarbij een aantal kanalen wordt opgeofferd in ruil voor de mogelijkheid om voor een reeks supergroepen „bandstopfilters" te kunnen construeren die een veel eenvoudiger doorschakeltechniek veroorloven (zie het tweede in [4]) aangehaalde artikel).

Uit het voorgaande zal de lezer hebben begrepen dat de coaxiale kabel en de symmetrische kabel ieder een eigen aangewezen toepassingsgebied hebben, waartussen echter de grens niet scherp afgebakend is en misschien mettertijd nog een flink eind naar de ene of naar de andere kant zal worden opgeschoven. Wanneer men zich beperkt tot de op het ogenblik gangbare techniek, dan kan worden gezegd dat voor verbindingen met een zeer groot aantal kanalen over lange afstand het coaxiale systeem ongetwijfeld de voorkeur verdient; de specifieke voordelen — minder kabelmateriaal en minder lijnapparatuur per kanaal en per kilometer — komen dan ten volle tot hun recht. Bij een kabeltraject door dunbevolkte streken krijgt de coaxiale kabel verder door de beschreven doelmatige voedingsmethode een streepje voor (voor sommige trajecten, met name in de Verenigde Staten van Amerika, is dit zelfs het doorslaggevende argument ten gunste van de coaxiale kabel geweest). Voor kleine afstanden in een zeer fijnmazig telefoonnet daarentegen geeft voorlopig de grotere flexibiliteit van systemen op symmetrische kabel met betrekkelijk weinig kanalen (bijv. 48) de doorslag. Wat het gebied tussen deze uitersten betreft, moet men terdege rekening houden met de mogelijkheid dat men kans zal zien de frequentieband van de symmetrische kabel aanzienlijk uit te breiden (zie boven), terwijl ook voeding van versterkerstations over dit kabeltype wellicht in de toekomst mogelijk zal zijn. De voordelen die hierdoor zouden worden verkregen, dienen dan weer te worden afgewogen tegen de resultaten van de evolutie die de draaggolftechniek op coaxiale kabel intussen zal hebben doorgemaakt.

Ten slotte zij hier nog vermeld dat op het ogenblik als een belangrijk argument ten gunste van de coaxiale kabel wordt beschouwd de mogelijkheid om televisie-programma's over te brengen, van de studio's naar de zenders en tussen de zenders onderling. Hiervoor heeft men een bandbreedte van minstens 4000 kHz nodig. De combinatie van telefonie en televisie op dezelfde transmissieweg heeft natuurlijk veel aantrekkelijks.

Aanhangsel: Transmissie-eigenschappen van de coaxiale pijp

De transmissie-eigenschappen van een willekeurig geleiderpaar kunnen, voor een sinusvormig signaal met bepaalde frequentie f ($= \omega/2\pi$), worden beschreven met behulp van

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

een zelfinductie L, capaciteit C, serieweerstand R en afleiding (reciproke parallelweerstand) G. De zelfinductie enz. moeten wij ons continu langs de kabel verdeeld denken; de waarden L, C, R en G (die in het algemeen van de frequentie van het signaal afhangen) hebben betrekking op één lengte-eenheid.

De theorie van de transmissie wordt betrekkelijk eenvoudig indien voldaan is aan de voorwaarden $\omega L \gg R$ en $\omega C \gg G$, hetgeen voor niet al te lage frequenties in de practijk steeds het geval is. De theorie leert dat dan de amplitudes van de spanning E en de stroom I voor een signaal op elk punt van een oneindig lange kabel tot elkaar staan als $\sqrt{L/C}$; deze grootheid is onafhankelijk van de frequentie en heet de golfweerstand. De verliezen bij de transmissie worden veroorzaakt door de serieweerstand en de afleiding. Bedragen stroom en spanning op een bepaald punt I_1 en E_1, dan vindt men een lengte-eenheid verder de kleinere waarden I_2 en E_2. De demping α van de kabel is gedefinieerd als $\alpha = \ln E_1/E_2 = \ln I_1/I_2$, en de theorie leert, dat

$$\alpha = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2}\sqrt{\frac{L}{C}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Het aandeel van de serieweerstand (weerstandsdemping) en dat van de afleiding (afleidingsdemping) zijn hier duidelijk gescheiden. De weerstandsdemping is in alle practisch voorkomende gevallen verreweg het grootst.

De serieweerstand kunnen wij als volgt in verband brengen met de afmetingen van de coaxiale pijp (tot hiertoe gold de theorie nog voor elk soort kabel). De hoogfrequente stroom loopt voornamelijk in een dunne schil langs de buitenomtrek van de binnengeleider (middellijn d) en langs de binnenomtrek van de buitengeleider (middellijn D). De warmte-ontwikkeling op elk punt is dezelfde als die welke een gelijkstroom met dezelfde effectieve waarde zou veroorzaken in een cylinder met dezelfde straal als de schil en met een wanddikte juist gelijk aan de indringdiepte ϑ. De doorsnede van de respectievelijke cylinders is $\vartheta \cdot \pi d$ en $\vartheta \cdot \pi D$, en volgens verg. (2) is $\vartheta \sim \sqrt{\varrho_1/f}$ resp. $\sim \sqrt{\varrho_2/f}$, indien ϱ_1 en ϱ_2 de soortelijke weerstand van het materiaal van de binnen- resp. buitengeleider zijn. De serieweerstand R is dan evenredig met

$$\sqrt{f}\left(\frac{\sqrt{\varrho_1}}{D} + \frac{\sqrt{\varrho_2}}{d}\right).$$

De capaciteit C zowel als de zelfinductie L van twee concentrische cylinders is alleen afhankelijk van de verhouding van de diameters, niet van de absolute waarde daarvan. Men vindt dat $\sqrt{L/C}$, de golfweerstand, evenredig is met $\log D/d$. De door (4) gegeven kabeldemping, voor zover berustend op de serieweerstand, is dus evenredig met

$$\frac{\sqrt{f}}{D}\,\frac{\sqrt{\frac{\varrho_1}{\varrho_2}} + \frac{D}{d}}{\log \frac{D}{d}}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

De tweede factor in deze uitdrukking hangt alleen van de verhouding D/d af en doorloopt bij een bepaalde waarde hiervan een (tamelijk vlak) minimum. Zijn binnen- en buitengeleider van hetzelfde materiaal, dwz. $\varrho_1/\varrho_2 = 1$, dan vindt men als optimale verhouding $D/d = 3{,}6$, en bij gegeven buitendiameter D wordt dus de kabeldemping minimaal als men d gelijk aan $D/3{,}6$ kiest. Dit is de voorwaarde verg.(1), en men ziet nu waarom men bij de meeste coaxiale telefoonkabels deze verhouding tegenkomt. Voor koper als binnen- en aluminium als buitengeleider is $\varrho_1/\varrho_2 = 1{,}64$, het minimum van de demping wordt dan gevonden bij $D/d = 3{,}8$.

Vult men in (5) voor de tweede factor de minimale waarde 4,6/log 3,6 in en houdt men rekening met de overige, niet in de formules meegesleepte evenredigheidsfactoren, dan komt de eerder aangegeven formule (3) voor de kabeldemping te voorschijn (daarbij is koper met $\varrho = 174{,}5 \cdot 10^{-6}\ \Omega$m als geleidingsmateriaal en lucht met $\varepsilon_r = 1$ als diëlectricum aangenomen).

Met de gegeven keuze van D/d is ook de zelfinductie L van de coaxiale pijp reeds vastgelegd en, als we de relatieve diëlectrische constante ε_r van het isolerende medium in de pijp kennen, eveneens de capaciteit C. Daarmee ligt dan ook de golfweerstand $\sqrt{L/C}$ van de kabel vast. Bestaat het diëlectricum alleen uit lucht, dan heeft men een golfweerstand van 77 ohm, met de nodige afstandschijfjes krijgt men in werkelijkheid 75 ohm; bij volledige vulling met polytheen vindt men 52 ohm.

De afleiding G is physisch te beschouwen als een gevolg van de diëlectrische verliezen van het isolerende medium. Zoals bekend, drukt men deze verliezen uit door de verlieshoek δ van het medium; er geldt de betrekking:

$$G = \omega C \operatorname{tg} \delta. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

Bij de in aanmerking komende materialen is tg δ, binnen het voor ons belangrijke frequentiegebied, onafhankelijk van de frequentie.

Aangezien C evenredig is met de diëlectrische constante ε_r en verder, voor de coaxiale pijp, alleen afhangt van de verhouding D/d, die hierboven reeds vast werd gekozen, is G evenredig met $f \cdot \varepsilon_r \cdot \operatorname{tg} \delta$. Nu is ε_r voor polytheen niet groot ($\approx 2{,}3$) en de diëlectrische verliezen zijn buitengewoon gering: men rekent meestal met een waarde tg $\delta \approx 3 \cdot 10^{-4}$. Zo is het te begrijpen dat de afleidingsdemping, hoewel deze sterker met de frequentie toeneemt dan de weerstandsdemping, voor de gebruikelijke constructies kan worden verwaarloosd.

Samenvatting. In het streven om de kabelkosten van een interlocale telefoonverbinding over een zo groot mogelijk aantal telefoniekanalen te kunnen omslaan, heeft men bij de gebruikelijke „symmetrische" kabels het aantal kanalen per geleiderpaar tot nu toe opgevoerd tot 48 (maximale signaalfrequentie ca 200 kHz). Dit aantal kan tot 60 of 72, met nieuwe, in ontwikkeling zijnde, hulpmiddelen wellicht tot 120, worden verhoogd. Dat men niet nog verder kan gaan, is te wijten aan het overspreken tussen naburige geleiders, dat met toenemende frequentie sterker wordt. Bij de coaxiale kabel is de situatie wat dit betreft, essentieel gunstiger: dank zij de afscherming van elke coaxiale pijp door haar buitengeleider neemt het overspreken hierbij met toenemende frequentie *af*. Men gebruikt daarom voor coaxiale systemen geen frequenties beneden 60 kHz, maar naar boven is het frequentiegebied in eerste instantie onbeperkt. Men is bij de coaxiale systemen, die in Amerika en in Engeland reeds in grote omvang in gebruik zijn, gegaan tot 600 of 660 kanalen per coaxiaal geleiderpaar: de normalisatie door het C.C.I.F. voorziet in een uitbreiding van dit aantal tot 960 (bovenste frequentiegrens ca 4 MHz). Aan het aantal kanalen wordt een economische grens gesteld doordat met toenemend aantal kanalen de versterkerafstand kleiner moet worden, hetgeen ten slotte de besparing aan kabelkosten te niet doet. In de practijk komt men aan deze economische grens lang niet toe, doch het aantal kanalen wordt hier door technische factoren beperkt, met name door de steeds hogere eisen die met toenemend aantal kanalen aan de lijnapparatuur worden gesteld, wat betreft bedrijfszekerheid, stabiliteit en lineariteit. Dit wordt in het artikel nader toegelicht. Ten slotte wordt ingegaan op het probleem van het „doorschakelen", dat inhaerent is aan alle draaggolfsystemen met zeer vele kanalen per geleiderpaar.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

VERVORMINGSVEROUDERING IN IJZER EN STAAL

door J. D. FAST.

620.193.918.4:669.11:669.14

Het belang van fundamentele onderzoekingen naar de invloed van verontreinigingen in technisch belangrijke metalen, zoals staal, behoeft niet onderstreept te worden. Verontreinigingen zijn o.a. verantwoordelijk voor verouderingsverschijnselen die optreden na koud vervormen (walsen, trekken) van ijzer en staal. Experimenten aan legeringen van bekende samenstelling brengen weer eens de belangrijke rol speciaal van stikstof als verontreiniging naar voren.

Veroudering

Staal (speciaal zg. vloeistaal) vertoont na mechanische vervorming (walsen, trekken) verouderingsverschijnselen. Deze openbaren zich voornamelijk daarin, dat de hardheid van het materiaal na de vervorming in de loop van de tijd toeneemt. Een dergelijke geleidelijke hardheidsverandering in ijzer of staal treedt ook op na snel koelen vanaf een hoge temperatuur, het zg. afschrikken. Men spreekt in het eerste geval van vervormingsveroudering, in het tweede van afschrikveroudering. Over afschrikveroudering is korte tijd geleden in dit tijdschrift reeds een artikel verschenen [1]; hierin is uiteengezet dat dit verschijnsel te wijten is aan de afscheiding van deeltjes ijzercarbide of ijzernitride in het metaal. Daartoe moet in het metaal vóór het afschrikken een hoeveelheid koolstof en stikstof in opgeloste toestand aanwezig zijn geweest. Zuiver ijzer blijkt dan ook geen afschrikveroudering te vertonen. Wij willen hier nog even herinneren aan het merkwaardige verschijnsel dat mangaan, in kleine hoeveelheid aanwezig, in staat bleek de afschrikveroudering van stikstofhoudend ijzer uitermate te vertragen.

Ook de vervormingsveroudering blijkt door speciale bestanddelen te worden veroorzaakt. In *fig. 1* is het verloop van de hardheid met de tijd na afschrikken resp. vervormen van vloeistaal weergegeven (volgens experimenten van Davenport en Bain [2]). De gestippelde krommen stellen het verloop van de hardheid voor na afschrikken van 720 °C op kamertemperatuur, bij bewaren op temperaturen van resp. 40 °C en 100 °C. De hardheid blijkt eerst toe te nemen, en daarna te dalen. De reeds vermelde precipitatie van ijzercarbide en ijzernitride in de vorm van kleine deeltjes veroorzaakt de hardheidstoeneming, de daaropvolgende hardheidsdaling wordt veroorzaakt door een coagulatie (grover worden) van de geprecipiteerde deeltjes. Beide verschijnselen verlopen sneller naarmate de temperatuur hoger is, zoals de figuur laat zien.

De getrokken krommen tonen het verloop van de hardheid nadat het materiaal een vervorming bij kamertemperatuur (een zg. koudvervorming) van 10% had ondergaan. De hardheid neemt ook hier toe tijdens het bewaren van het materiaal, eveneens des te sneller naarmate de temperatuur hoger is, doch van een afneming na langere tijd is nu weinig te merken. In dit punt onderscheidt zich de vervormingsveroudering dus duidelijk van de afschrikveroudering.

Een ander effect van de vervormingsveroudering verraadt zich in de vorm van de zg. trek-rekkromme van technisch ijzer. Deze kromme geeft

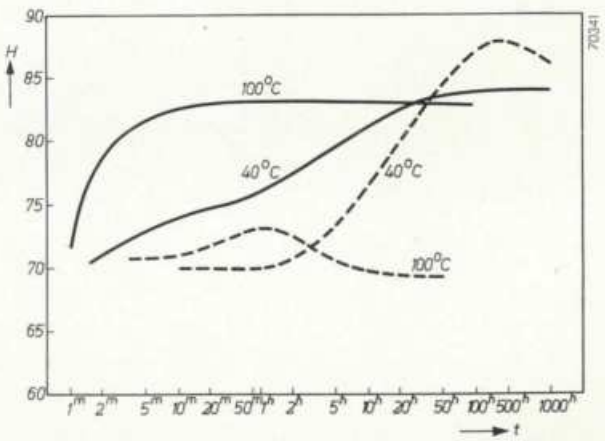

Fig. 1. Afschrik- en vervormingsveroudering van vloeistaal, volgens Davenport en Bain [2]. Uitgezet is de Vickershardheid H als functie van de tijd t bij de temperaturen 40 °C en 100 °C, na afschrikken vanaf 720 °C (gestippelde krommen) en na 10% koud vervormen (getrokken krommen). De hardheid van het afgeschrikte materiaal neemt eerst toe (precipitatie) en daarna weer af (coagulatie). De hardheid van het vervormde materiaal neemt wel toe, maar daarna bij de genoemde temperaturen niet meer af. Men lette op het verschil in maximale hardheid bij de twee temperaturen voor het afgeschrikte materiaal. Voor het vervormde materiaal hangt de eindwaarde van de hardheid vrijwel niet van de verouderingstemperatuur af.

[1]) J. D. Fast, Verouderingsverschijnselen in ijzer en staal na snel koelen, Philips techn. T. **13**, 165-172, 1951 (No. 6). Dit artikel zal in het vervolg met I aangeduid worden.

[2]) E. S. Davenport en C. E. Bain, Trans. Amer. Soc. Met. **23**, 1047, 1935.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

het verband aan tussen de belasting (trek) die op het materiaal wordt uitgeoefend en de deformatie (rek) die daarvan het gevolg is. In *fig. 2a* is een trek-rek-kromme van vloeistaal weergegeven. Terwijl de deformatie bij kleine belastingen monotoon

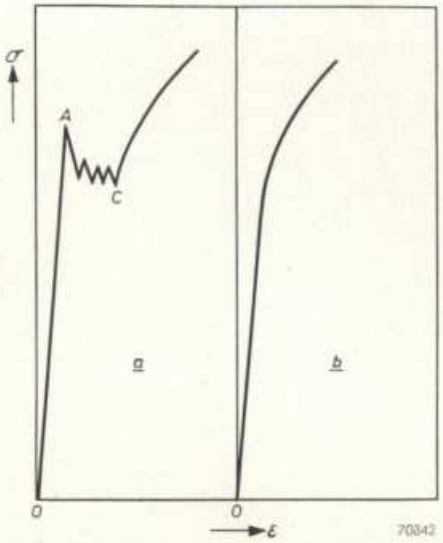

Fig. 2. Trek-rek-krommen van vloeistaal. Uitgezet is de trekspanning σ als functie van de deformatie ε. *a*) Het staal vertoont een scherpe bovenste vloeigrens bij *A*. Tot *C* voorgerekt materiaal vertoont bij hernieuwde belasting een vloeiende trek-rek-kromme (*b*).

met de belasting toeneemt (er bestaat een nagenoeg lineair verband) gaat bij de belasting corresponderend met het punt *A* het materiaal plastisch vloeien. De deformatie neemt zeer plotseling sterk en vrij onregelmatig toe, terwijl de belasting terzelfdertijd iets afneemt als gevolg van de traagheid van de trekmachine. Ten slotte (vanaf *C*) vereist een verdere, plastische, uitrekking van het materiaal weer een stijgende belasting. Men noemt de belasting behorende bij het punt *A* de bovenste vloeigrens van het staal.

Heft men de belasting op zodra het punt *C* in figuur 2*a* is bereikt en neemt men vervolgens de trek-rek-kromme opnieuw op, dan vindt men de vloeiende kromme van fig. 2*b*. De vloeigrens is niet meer aanwezig. De vervormingsveroudering uit zich nu daarin dat de scherpe vloeigrens geleidelijk terugkeert, als men het materiaal, na de eerste behandeling (vervorming tot het punt *C*) aan zijn lot overlaat. De terugkeer gaat des te sneller naarmate de temperatuur waarbij men het materiaal bewaart, hoger is.

Beide gevolgen van de vervormingsveroudering, het geleidelijk harder worden na een vervorming en het geleidelijk terugkeren van een scherpe vloeigrens, treden niet op in zuiver ijzer (dat trouwens geen bovenste vloeigrens vertoont). Men moet dus wel aannemen dat de vervormingsveroudering evenals de afschrikveroudering samenhangt met verontreinigingen, die steeds in technisch ijzer aanwezig zijn. Terwijl echter als oorzaak voor het laatste verschijnsel werd gevonden het optreden van geprecipiteerde deeltjes, is volgens Cottrell [3]) de vervormingsveroudering toe te schrijven aan het gedrag van de in opgeloste toestand blijvende koolstof- en stikstofatomen.

Om deze onderstelling te toetsen, hebben wij hardheidsmetingen gedaan aan zuiver ijzer alsook aan ijzer waaraan bekende hoeveelheden van één of meer verontreinigingen waren toegevoegd volgens een methode die reeds eerder in dit tijdschrift is beschreven [4]). Als verontreinigingen werden gebruikt koolstof (0,04%) en stikstof (0,02%), al of niet in aanwezigheid van mangaan (0,5 %). Alvorens de experimenten te bespreken, zij hier kort ingegaan op de door Cottrell e.a. voorgestelde verklaring van de vervormingsveroudering, daar de resultaten van onze experimenten enkele wijzigingen van deze theorie noodzakelijk schijnen te maken.

Plastische vervorming van een metaal

De plastische vervorming van een metaal komt tot stand doordat onder invloed van uitwendige krachten gedeelten van kristallen langs bepaalde kristallografische vlakken (glijvlakken) en in bepaalde kristallografische richtingen (glijrichtingen) over elkaar gaan schuiven. In *fig. 3* is voorgesteld hoe dit zou kunnen gebeuren. De stippellijn stelt een glijvlak voor dat loodrecht op het vlak van de tekening staat, de glijrichting ligt langs de stippellijn. Onder invloed van de door pijlen aangegeven

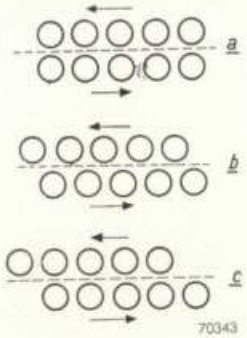

Fig. 3. Continu over elkaar glijden van twee atoomlagen in een (denkbeeldig) enkelvoudig kubisch metaalrooster. Om van de evenwichtspositie *a* naar de evenwichtspositie *c* te komen, moet de configuratie *b*, die een aanmerkelijk grotere energie bezit, worden gepasseerd.

[3]) A. H. Cottrell, Report of a conference on strength of solids, held at Bristol, 1948, blz. 30-38; Progress in Metal Physics **1**, 77-126, 1949.

[4]) J. D. Fast, Een toestel voor het bereiden van metalen met een nauwkeurig bekend gehalte aan verontreinigingen, Philips techn. T. **11**, 244-247, 1949.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

schuifspanning treedt een afschuiving op, waarvan het verloop in de figuren 3*a* tot 3*c* is weergegeven. In fig. 3*c* is de afschuiving over één atoomafstand voortgeschreden. Onderweg (fig. 3*b*) zijn de atomen posities gepasseerd waarin hun energie groter is dan vóór resp. na de afschuiving. Men kan deze energie uit de kristalgegevens berekenen en hieruit afleiden welke schuifspanning nodig zou zijn opdat een verplaatsing van alle atomen tegelijk, zoals in fig. 3 is voorgesteld, zou optreden. Men vindt dan spanningen die meer dan duizend maal groter zijn dan experimenteel wordt waargenomen. De atomen worden dus klaarblijkelijk niet alle tegelijk verplaatst. Men kan zich voorstellen dat het afschuiven in stapjes geschiedt, en wel zodanig dat de atomen zich één voor één in de glijrichting verplaatsen. Er is dan een veel kleinere schuifspanning vereist. Op de meest primitieve manier voorgesteld, gaat fig. 3 dan over in *fig. 4*.

Het stapsgewijs afschuiven wordt in fig. 4 wel wat al te eenvoudig voorgesteld, doordat wij slechts de atomen beschouwen, die direct onder en boven het glijvlak liggen. Houden we ook rekening met de andere atomen, dan krijgen wij het beeld van *fig. 5*, waarin de afschuiving tot halverwege het kristal is voortgeschreden (de toestand dus van fig. 4*c* of 4*d*). De afwijking van de ideale structuur zoals midden in fig. 5 te zien is (het omlijnde gedeelte), wordt een dislocatie genoemd.

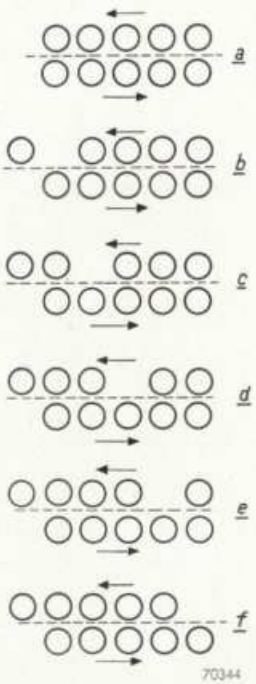

Fig. 4. Primitieve voorstelling van het discontinu over elkaar glijden van twee atoomlagen in een enkelvoudig kubisch rooster. In deze en de vorige figuur geven de pijlen de richting van de schuifspanning aan. De stippellijn stelt het glijvlak voor.

Men moet hierbij bedenken dat de figuur slechts een doorsnede door het kristal geeft en dat de dislocatie ondersteld wordt zich loodrecht op het vlak van tekening naar weerszijden uit te strekken. Men kan de dislocatie, zoals ze zich, op haar reis van links naar rechts, middenin de figuur bevindt, in gedachten ook ter plaatse gevormd denken doordat een extra verticale atoomlaag loodrecht op het papier (aangegeven door de korte pijl) met geweld in de onderste helft van het kristal is gestoken. In de onderste helft van de dislocatie liggen de atomen daardoor te dicht bij elkaar, in de bovenste helft te ver uiteen.

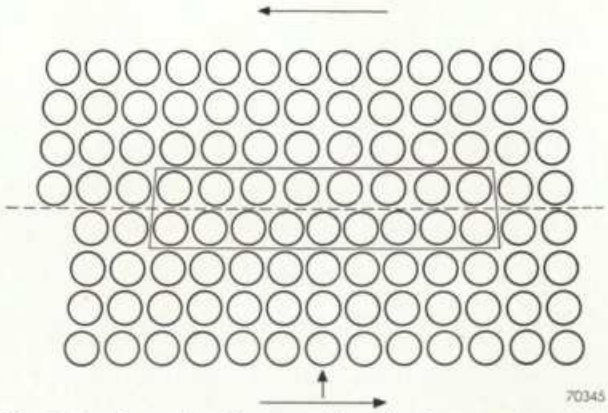

Fig. 5. Geschematiseerde voorstelling (in één atoomlaag) van een dislocatie in een enkelvoudig kubisch metaalrooster. De dunne pijlen geven weer de richting van de uitwendige schuifspanning aan, de stippellijn stelt het glijvlak voor. In het omlijnde gebied verraadt zich de invloed van de dislocatie het sterkst. Deze kan men zich ook voorstellen als te zijn ontstaan door het met geweld inbrengen van een extra rij atomen in de onderste helft van het kristal (korte pijl). De dislocatie is een loodrecht op het vlak van tekening staande nagenoeg lijnvormige roosterstoring, waarvan wij hier alleen de doorsnede met één atoomvlak zien.

De onderste helft staat onder drukspanning, de bovenste onder trekspanning. Bovendien treden in de omtrek van de dislocatie schuifspanningen op.

Links van de dislocatie heeft reeds een afschuiving over één atoomafstand plaats gevonden, rechts ervan is nog geen verandering opgetreden.

Plastische vervorming van het kristal is in dit beeld nu niets anders dan het bewegen van dislocaties langs de glijvlakken in bepaalde kristallografische richtingen. Deze beweging vindt onder invloed van een schuifspanning met grote snelheid plaats, en wordt enigszins geholpen door de thermische beweging der atomen. Heeft de dislocatie zich van de ene naar de andere zijde van het kristal verplaatst, dan is een afschuiving over één atoomafstand tot stand gekomen. Boven op een glijvlak gezien, verloopt het afschuivingsproces als schematisch in *fig. 6* is uitgebeeld. De gearceerde dislocatie moet zich ofwel over de gehele breedte van het glijvlak van de ene zijde van het kristal tot de andere uitstrekken ofwel in zichzelf gesloten zijn.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Men neemt tegenwoordig aan dat er altijd reeds bij voorbaat dislocaties in de metaalkristallen aanwezig zijn. Wij willen er hier echter niet op ingaan hoe men zich voorstelt dat deze bij het ontstaan van de kristallen uit de smelt of uit de gasphase in de vaste stof worden ingebouwd en evenmin hoe zij aan de wanden van een kristal tijdens het deformatieproces kunnen ontstaan. In elk geval moet worden aangenomen dat het aantal dislocaties tijdens het plastisch vloeien sterk toeneemt. Dit verklaart de versteviging die als gevolg van de deformatie optreedt. Doordat nl. elke dislocatie door een elastisch spanningsveld is omgeven, oefenen dislocaties aantrekkende of afstotende krachten op elkaar uit en als hun dichtheid toeneemt, maken deze krachten het voor elke afzonderlijke dislocatie moeilijker om zich te bewegen. De vervormbaarheid van het metaal wordt dus kleiner, de hardheid groter. Deze versteviging komt duidelijk tot uiting in de trek-rek-krommen van fig. 2.

De toeneming van de hardheid van een metaal na afschrikken berust volgens de dislocatietheorie daarop dat de beweging der dislocaties bemoeilijkt wordt door de geprecipiteerde deeltjes. Deze bemoeilijking wordt waarschijnlijk vooral veroorzaakt door de elastische vervorming van het rooster in de omgeving van de precipitaatkorrels.

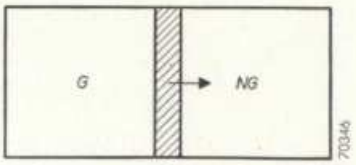

Fig. 6. Verplaatsing van een dislocatie van links naar rechts langs een glijvlak, „bekeken" in een richting loodrecht op die van de drie vorige figuren, nl. in de richting van de korte pijl van fig. 5. *G* is het reeds gegleden gedeelte („het gedeelte waar de dislocatie reeds overheen is gegleden"), *NG* is het nog niet gegleden gedeelte.

Theoretische beschouwingen over de vervormingsveroudering

Volgens Cottrell c.s. is de vervormingsveroudering een gevolg van de wisselwerking tussen de dislocaties en de, in geringe concentraties aanwezige, koolstof- of stifstofatomen, die interstitieel (op tussenroosterplaatsen dus) in het ijzer zijn opgelost. Zoals in I reeds is uiteengezet, veroorzaakt elk opgelost koolstof- of stikstofatoom een toeneming van het volume van de elementaire cel van het ijzerrooster waarin het aanwezig is. Nu zagen wij in het voorgaande, dat het ijzerrooster aan één zijde van een dislocatie is uitgerekt en aan de andere zijde samengedrukt. De interstitiële plaatsen zijn daardoor niet meer energetisch gelijkwaardig: de opgeloste atomen zullen de gecomprimeerde gebieden ontvluchten en de geëxpandeerde gebieden opzoeken. Veel atomen die aan dit ontvluchtingsproces meedoen, zijn er bij kamertemperatuur in de evenwichtstoestand niet, aangezien de oplosbaarheid van koolstof of stikstof in ijzer bij kamertemperatuur slechts uiterst gering is: resp. enkele malen 10^{-7} en 10^{-5} gewichtsprocenten. De wisselwerking tussen de dislocaties en de opgeloste atomen zal derhalve in hoofdzaak daarin bestaan dat zich in het geëxpandeerde gedeelte van elke dislocatie in de loop van de tijd een concentratie aan C- resp. N-atomen instelt die aanmerkelijk groter is dan in het ongestoorde rooster. Er treedt hierdoor een vermindering van de trek- en drukspanningen rondom de dislocatie op. Ook de gesignaleerde schuifspanningen kunnen door verplaatsingen van de opgeloste atomen verminderd worden, aangezien elk C- resp. N-atoom een asymmetrische vervorming van het ijzerrooster veroorzaakt (zie I). Men kan dit alles kortweg zo uitdrukken, dat de elastische energie van de dislocatie (beter: van het spanningsveld rondom de dislocatie) is afgenomen.

In het beeld van figuur 5 zou de „wolk" van C- resp. N-atomen die zich in en om een dislocatie vormt, in hoofdzaak uit één centrale rij atomen kunnen bestaan, dwz. uit ten hoogste één C- of N-atoom per atoomlaag evenwijdig aan het vlak van tekening. Daaromheen neemt de concentratie exponentieel af. Dergelijke strengen van C- of N-atomen mogen misschien als een tussenstadium tussen opgeloste en geprecipiteerde koolstof (stikstof) worden beschouwd. Men zou kunnen aannemen dat deze eendimensionale prae-precipitaten als kernen werken bij de echte precipitatie.

De daling van de elastische energie van de dislocatie heeft tot gevolg dat de dislocatie als het ware is verankerd. De hardheid van het materiaal is daardoor toegenomen. Op deze wijze kan men de vervormingsveroudering begrijpen als een diffusieproces van de interstitieel opgeloste koolstof- of stikstofatomen naar de dislocaties.

In niet pas vervormd technisch staal zal steeds een groot aantal van de dislocaties verankerd zijn. Verplaatsing van zo'n dislocatie zal de elastische energie ervan doen stijgen, tenzij de dislocatie in staat is haar wolk van interstitiële atomen met zich mee te voeren. Brengt men nu bij betrekkelijk lage temperatuur een betrekkelijk snel aangroeiende uitwendige belasting op het materiaal aan, dan hebben de wolken niet de tijd om mee te diffunderen en de dislocaties zullen bij stijgende belasting ten slotte van hun wolken worden losgerukt. Na dit losrukken vereist de verdere beweging van de dislocatie een geringere spanning. Anders gezegd: er is een grotere spanning nodig om het plastische vloeien in te leiden

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

dan om dit vloeien te laten doorgaan. De theorie verklaart zo op ongedwongen wijze het optreden van een bovenste vloeigrens bij technisch ijzer (zie fig. 2*a*).

Vervormen wij het ijzer na het eerste vloeien niet verder, doch nemen wij de trek-rek-kromme opnieuw op na niet te lange tijd, dan zullen de opgeloste atomen nog niet of nauwelijks kans hebben gekregen weer naar de dislocaties toe te diffunderen, zodat de dislocaties dan nog goed beweeglijk zijn. Vandaar dat men dan ook in de nieuwe trek-rek-kromme geen spoor van een vloeigrens aantreft. Wacht men echter na het opnemen van de eerste kromme zo lang, dat de interstitiële atomen wel voldoende tijd hebben gehad om naar de dislocaties te diffunderen en deze daardoor te blokkeren, dan moet men verwachten dat om het plastische vloeien te doen beginnen, weer een extra grote spanning nodig zal zijn, met andere woorden: dat de scherpe vloeigrens zal blijken te zijn teruggekeerd. Zoals reeds is vermeld, is dit juist wat wordt waargenomen. Hoe hoger de temperatuur is, hoe groter de diffusiesnelheid zal zijn en hoe sneller de terugkeer zal plaatsvinden. Ook dit wordt, zoals we reeds hebben gezien, door het experiment bevestigd.

De theorie vindt een kwantitatieve bevestiging in het feit dat de temperatuurcoëfficient van de snelheid van deze vervormingsveroudering in koolstofhoudend ijzer ongeveer gelijk blijkt te zijn aan de temperatuurcoëfficient van de diffusieconstante van koolstof in ijzer (overeenkomend met een activeringsenergie van ca 80 000 joule, zie I).

Experimenten over vervormingsveroudering aan speciaal bereide legeringen

Het leek ons nuttig om na te gaan of de hiervoor beschreven inzichten van Cottrell en anderen, die grotendeels op experimenten aan technisch ijzer berusten, zich ook verdragen met de eigenschappen van het hiervoor genoemde zuivere ijzer waaraan bekende hoeveelheden van één of meer verontreinigingen werden toegevoegd. Bij de experimenten over vervormingsveroudering die aan deze materialen werden verricht [5]) bleken koolstof en stikstof niet volkomen dezelfde effecten te veroorzaken. Koolstof bleek zelfs na veertig uur verwarmen op 50 °C nog geen vervormingsveroudering te geven, terwijl stikstof reeds na twee uur verwarmen op deze temperatuur het maximale effect gaf. De verschillen worden gedemonstreerd door de *figuren 7* en *8*. Bij aanwezigheid van koolstof als enige verontreiniging in ijzer moet men tot 200 °C verwarmen (bij een verhittingstijd van twee uur) om een maximaal verouderingseffect te krijgen.

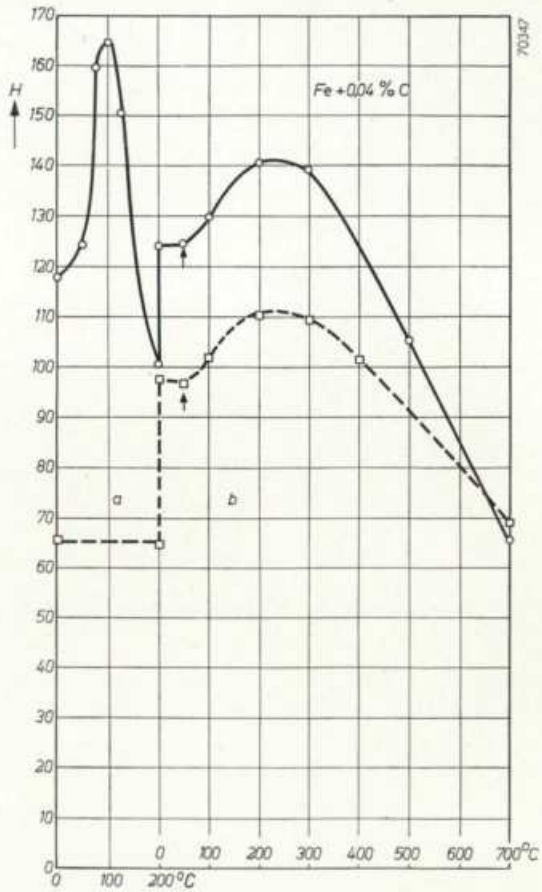

Fig. 7. Vickers-hardheid H van ijzer met 0,04% koolstof als enige verontreiniging, na verschillende thermische en mechanische behandelingen. De getrokken kromme geeft de hardheden na achtereenvolgens afschrikken van 720 °C, 2 uur verwarmen op 50, 75, 100, 125 en 200 °C, 10% koud vervormen, 2 uur verwarmen op 50, 100, 200, 300, 500 en 700 °C. De gestippelde kromme geeft de hardheden na alleen koud vervormen en de verschillende verwarmingen gedurende 2 uur. In beide gevallen treedt gedurende 2 uur verhitten op 50 °C nog geen merkbare vervormingsveroudering op (zie de pijltjes). Het gedeelte *a* van deze figuur heeft betrekking op de hardheidsverandering na afschrikken, het gedeelte *b* op de hardheidsverandering na vervormen.

De experimenten waren analoog opgezet als de in I beschreven experimenten over afschrikveroudering. Om het verouderingsverschijnsel zich binnen redelijke tijd te laten afspelen, werd van het vervormde materiaal allereerst de hardheid onmiddellijk na de vervorming gemeten, dan werd het gedurende twee uur bij een temperatuur van 50 °C bewaard, daarna 2 uur bij 100 °C, 200 °C enz. tot 700 °C. Na elke afzonderlijke verwarming werd de hardheid opnieuw gemeten. Het voordeel van deze wijze van doen is, dat de bij lage temperatuur soms zeer langdurige laatste etappe der veroudering zich nu bij hogere temperaturen voltrekt, en dan binnen redelijke tijd verloopt.

De figuren 7 en 8 laten zien dat de hardheid weer daalt bij de temperatuurbehandelingen boven 300 °C. Dit lijkt in strijd met onze bewering dat de hardheid bij vervormingsveroudering, in tegenstelling tot wat bij afschrikveroudering gebeurt,

[5]) J. D. Fast, Revue de Métallurgie **47**, 779-786, 1950.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

na lang bewaren niet afneemt. Deze tegenstrijdigheid bestaat echter maar in schijn: bij temperaturen boven 300 °C gaan de processen van herstel en rekristallisatie optreden, waardoor de hardheid weer afneemt. Met andere woorden, het dalende deel van de krommen in de figuren 7 en 8 berust op andere processen dan de in dit artikel beschouwde.

De beschreven experimenten wijzen er op, dat men de opvatting van Cottrell, volgens welke de vervormingsveroudering van technisch ijzer veroorzaakt wordt door een hergroepering rondom de dislocaties van koolstof- resp. stikstofatomen die zich reeds in oplossing in het ijzer bevinden, enigszins moet wijzigen.

De opvatting van Cottrell vermag wel rekenschap af te leggen van het feit dat koolstof bij lage temperatuur niet direct een vervormingsveroudering te zien geeft. Het is nl. bekend dat de oplosbaarheid van koolstof in ijzer veel geringer is dan die van stikstof: terwijl de oplosbaarheid van stikstof in ijzer ca $2 \cdot 10^{-5}$ % bedraagt bij 20 °C,

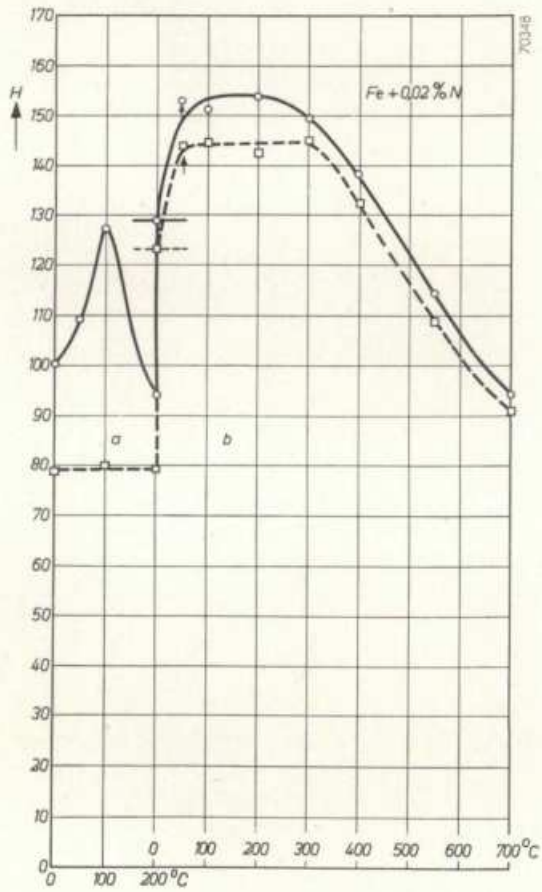

Fig. 8. Vickers-hardheid H van ijzer met 0,02% stikstof als enige verontreiniging, na de thermische en mechanische behandelingen die onder figuur 7 werden beschreven. De gedeelten *a* en *b* van de figuur hebben dezelfde betekenis als in fig. 7. De vervormingsveroudering verloopt zeer veel sneller dan bij aanwezigheid van koolstof; na de verwarming gedurende 2 uur op 50 °C is de maximale hardheid reeds bereikt (zie de pijltjes). De daling van de hardheid bij hogere temperaturen in deze beide figuren is een gevolg van herstel en rekristallisatie.

wordt deze waarde voor koolstof pas bij 150 °C bereikt. Er zijn dus beneden ca 100 °C blijkbaar te weinig koolstofatomen in oplossing om de dislocaties te kunnen verankeren.

Het feit echter dat koolstof bij iets hogere temperatuur, bijv. 100 °C, wèl reeds een relatief snelle vervormingsveroudering vertoont wijst er op dat dan wel degelijk atomen beschikbaar zijn om dislocaties te verankeren, terwijl de iets toegenomen oplosbaarheid bij die temperatuur zeker nog niet voldoende is om de geconstateerde effecten te kunnen verklaren. We zijn daarom gedwongen aan te nemen dat de voor de verankering van de dislocaties nodige koolstofatomen grotendeels door de carbidedeeltjes worden geleverd. We moeten ons blijkbaar voorstellen dat van hieruit koolstofatomen in oplossing gaan en zich daarna door diffusie naar de dislocaties bewegen. Dit zou inhouden dat het voor de C-atomen energetisch minstens ongeveer even voordelig is om zich in een dislocatiewolk te bevinden als in een carbidekristal.

In deze gewijzigde opvatting zal de veroudering in koolstofhoudend ijzer inderdaad pas bij een hogere temperatuur even snel verlopen als de veroudering in stikstofhoudend ijzer bij 50 °C, en wel bij die temperatuur waarbij het product van de diffusiecoëfficient en de oplosbaarheid van koolstof gelijk is aan het overeenkomstige product voor stikstof bij 50 °C. Hierbij is dan verondersteld dat de afstanden tussen de dislocaties en de precipitaatkorrels in het koolstofhoudende ijzer ongeveer dezelfde zijn als die in het stikstofhoudende ijzer, en dat de overgang van een C-atoom van het precipitaat naar de oplossing ongeveer dezelfde activeringsenergie vereist als de overeenkomstige overgang van een N-atoom.

Volgens de meest recente gegevens [6]) worden de oplosbaarheden q en de diffusiecoëfficienten D van koolstof en stikstof in α-ijzer gegeven door de formules:

$$q_C = 3{,}1 \quad e^{-10\,000/RT} \text{ gew. \%},$$
$$q_N = 5{,}0 \quad e^{-7\,100/RT} \text{ gew. \%},$$
$$D_C = 0{,}02 \quad e^{-20\,100/RT} \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-1},$$
$$D_N = 0{,}003 \; e^{-18\,200/RT} \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-1},$$

waarin T de absolute temperatuur voorstelt en R de gasconstante per grammolecuul. Volgens deze formules heeft het product Dq voor stikstof in α-ijzer bij 50 °C de waarde

$$D_N q_N \; (50\ ^\circ\text{C}) = 1{,}4 \cdot 10^{-19} \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-1}.$$

[6]) Voor de oplosbaarheden verwijzen wij naar: L. J. Dijkstra, Tr. Am. Inst. Min. and Met. Engrs. **185**, 252-260, 1949 en voor de diffusiecoëfficienten naar: C. A. Wert, Phys. Rev. **79**, 601-605, 1950 en J. appl. Phys. **21**, 1196-1197, 1950.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het product $D_C q_C$ bereikt deze waarde pas bij ca 100 °C. In werkelijkheid verloopt de veroudering in koolstofhoudend ijzer bij 100 °C nog steeds langzamer dan in stikstofhoudend ijzer bij 50 °C (figuren 7 en 8). Men zou dit kunnen verklaren door aan te nemen dat méér stikstof in het ijzer opgelost was dan met het evenwicht correspondeert, met andere woorden dat we met oververzadigde oplossingen van stikstof te maken hadden, dit in tegenstelling tot wat bij de koolstofhoudende preparaten het geval was. De stikstof zou onder die omstandigheden de dislocaties veel sneller kunnen verankeren dan de koolstof, die eerst van de carbidedeeltjes in oplossing moet gaan. Een andere mogelijke verklaring is, dat de overgang van een stikstofatoom van het precipitaat naar de oplossing gemakkelijker tot stand komt dan de overeenkomstige overgang van een koolstofatoom.

In bovenstaande berekening heeft q_N betrekking op de oplosbaarheid van stikstof in α-ijzer dat in evenwicht is met de stabiele nitride-phase Fe_4N. In werkelijkheid was het nitride in het materiaal dat voor de verouderingsexperimenten werd gebruikt, in de vorm van de metastabiele phase $Fe_{16}N_2$ aanwezig (vgl. I). De oplosbaarheid van stikstof in α-ijzer dat in evenwicht met deze phase verkeert, is groter en wordt volgens Dijkstra [6]) gegeven door

$$q'_N = 32\, e^{-7800/RT}.$$

Maken we van deze uitdrukking gebruik in bovenstaande redenering, dan verandert de uitkomst slechts weinig. De genoemde temperatuur van ca 100 °C wordt erdoor naar ca 105 °C verschoven.

De experimenten leiden tot de conclusie, dat stikstof als een heel wat gevaarlijker verontreiniging in vloeistaal moet worden beschouwd dan koolstof. Hierop wijst ook het feit, dat men technisch staal kan vervaardigen dat zeer weinig vervormingsveroudering vertoont, door aan het staal aluminium toe te voegen (bijv. het Duitse Izettstaal). Aluminium bindt slechts de stikstof die in het staal aanwezig is, niet de koolstof [7]).

Invloed van mangaan op de vervormingsveroudering

Zoals in I is uiteengezet, wordt door toevoeging van 0,5% mangaan aan stikstofhoudend ijzer de afschrikveroudering van dit materiaal uitermate vertraagd. De verklaring die hiervoor werd gegeven was, dat de opgeloste stikstofatomen sterk aan de mangaanatomen in het ijzerrooster gebonden zijn, zodat zij niet of nauwelijks kunnen precipiteren [8]). Onze proeven over vervormingsveroudering hadden nu het merkwaardige resultaat dat mangaan geen merkbare invloed op de vervormingsveroudering van stikstofhoudend ijzer bleek te hebben. Op grond van de theorie van Cottrell zou men hebben verwacht dat mangaan de opgeloste stikstof verhindert naar de dislocaties te diffunderen en dat dus in mangaanhoudend ijzer stikstof nauwelijks vervormingsveroudering zou mogen veroorzaken.

Het is moeilijk dit verschijnsel met de boven gegeven beschouwingen in overeenstemming te brengen. De richting waarin de oplossing moet worden gezocht is misschien deze dat ook tussen de mangaanatomen en de dislocaties een wisselwerking bestaat, in die zin dat een aanmerkelijk gedeelte der mangaanatomen zich na de vervorming in de dislocaties bevindt. Ook bestaat de mogelijkheid dat onze verklaring van de invloed van mangaan op de afschrikveroudering niet geheel juist is en dat de vertragende werking van mangaan op de vorming van nitridekiemen bij de afschrikveroudering op andere wijze moet worden verklaard dan door de onderstelling dat de stikstofatomen zich moeilijk van de mangaanatomen kunnen losmaken.

Blauwbrosheid

Nog moeilijker in het dislocatiebeeld te voegen zijn enkele van onze experimenten die met het probleem van de zg. blauwbrosheid samenhangen. Onder de blauwbrosheid van technisch ijzer (vloeistaal) verstaat men het feit, dat dit materiaal bij 200 tot 300 °C een kleinere rek en insnoering en een grotere trekvastheid vertoont dan bij lagere (en ook bij hogere) temperaturen (zie *fig. 9*). Dit gebied van betrekkelijke brosheid wordt naar hogere temperaturen verschoven bij een snellere uitvoering van de proef. Zulk een snellere bepaling van de sterkte van een materiaal is bijv. de kerfslagproef [9]). Hierbij wordt de arbeid gemeten die nodig is om een gekerfde staaf van gegeven dimensies met behulp van een hamer ter plaatse van de kerf te breken. De kerfslagwaarde van technisch ijzer als functie van de temperatuur vertoont een minimum bij temperaturen tussen ongeveer 400 °C en 500 °C. Onze experimenten (reeds in het in noot [9]) aangehaalde artikel beschreven) leren dat

[7]) Volgens een onderzoek van S. T. Epstein, H. J. Cutler en J. W. Frame, J. Metals, Juni 1950, pag. 830-834, kan men de vervormingsveroudering ook onderdrukken door vanadium in plaats van aluminium aan het staal toe te voegen. Vanadium verbindt zich zowel met koolstof als met stikstof, maar het gestelde doel werd reeds bereikt met veel minder vanadium dan nodig zou zijn geweest om naast de stikstof ook nog alle koolstof te binden.

[8]) J. D. Fast en L. J. Dijkstra, Inwendige demping in ijzer en staal, Philips techn. T. **13**, 172-180, 1951 (Nr. 6). Het decimale classificatienummer van dit artikel bevat een drukfout: het laatste gedeelte er van moet luiden **669.14-156.**

[9]) Vgl. J. D. Fast, Onderzoekingen over de kerfslagwaarde van ijzer en staal, Philips techn. T. **11**, 307-314, 1949.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

het minimum in de kerfslagwaardekromme in het geheel niet optreedt indien slechts koolstof als verontreiniging in het ijzer aanwezig is. Daarentegen veroorzaakt stikstof wel een minimum (zie *fig. 10*).

Met behulp van de dislocatietheorie [10]) heeft men de blauwbrosheid en het minimum in de kerfslagwaardekromme als volgt trachten te verklaren.

Zowel bij een zeer grote als bij een zeer kleine vervormingsnelheid ondervinden de dislocaties weinig last van de hen omringende wolken. Bij een zeer grote snelheid kunnen de wolken de dislocaties niet volgen en de beïnvloeding houdt na het losrukken op; bij een zeer kleine snelheid is de invloed van de wolken gering omdat zij de beweging der dislocaties gemakkelijk kunnen bijhouden. Er zijn echter tussenliggende snelheden waarbij de wolken nog wel kunnen meekomen, maar slechts met moeite. De dislocaties worden in dit snelheidsgebied in hun beweging belemmerd, hetgeen tot uiting komt in een moeilijker vervormbaarheid, dwz. in een bros gedrag. Naarmate de temperatuur hoger is, diffunderen de C- en N-atomen sneller en kunnen de wolken de dislocaties gemakkelijker bijhouden. Bij stijgende temperatuur wordt het brosse gebied dus naar grotere vervormingsnelheden verschoven of, wat op hetzelfde neerkomt, bij grotere vervormingsnelheden treedt het brosse gebied bij hogere temperaturen op. Op het eerste gezicht klinkt deze verklaring wel aannemelijk. Waardoor echter stikstof wel en koolstof niet een bros worden van het materiaal veroorzaakt, is niet duidelijk.

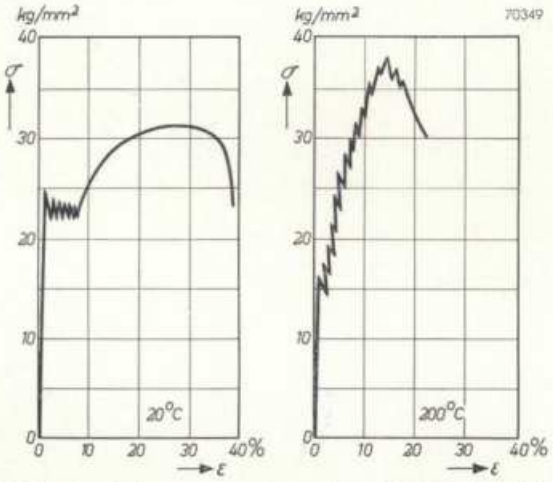

Fig. 9. Trek-rek-krommen van een niet-gekalmeerd vloeistaal, opgenomen resp. bij 20 °C en bij 200 °C. Het materiaal vertoont bij 200 °C een kleinere rek en een grotere treksterkte dan bij 20 °C. De naam blauwbrosheid voor dit verschijnsel hangt samen met de aanloopkleur die bij 200 °C optreedt. De rek is gemeten als de procentuele lengteverandering van een oorspronkelijk 5 cm lang proefstaafje.

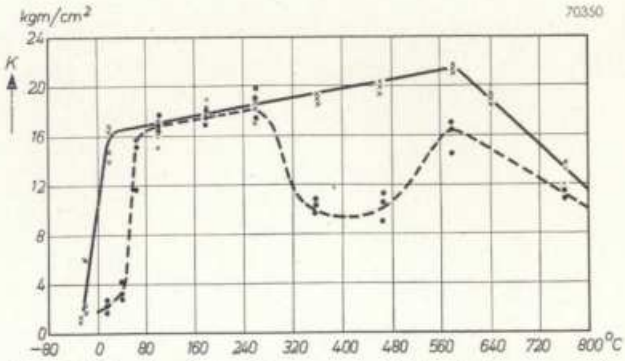

Fig. 10. Is koolstof als enige verontreiniging in ijzer aanwezig (de getrokken kromme heeft betrekking op ijzer met 0,02 % C), dan treedt geen minimum op in de kromme die de kerfslagwaarde K geeft als functie van de temperatuur; is daarentegen zowel koolstof als stikstof in het ijzer aanwezig (de gestippelde kromme heeft betrekking op ijzer met 0,06% C en 0,018 % N), dan vertoont de kerfslagwaarde een minimum tussen 400 en 500 °C.

Hoewel de dislocatietheorie ons dus vele nuttige aanwijzingen geeft omtrent de invloed van bepaalde verontreinigingen in technisch ijzer, is zij in haar huidige vorm toch nog niet in staat ook de details van het gedrag der verontreinigingen te verklaren.

Samenvatting. Onder de vervormingsveroudering van ijzer en staal verstaat men een geleidelijke toeneming van de hardheid na koud vervormen, alsmede het terugkeren van de scherpe bovenste vloeigrens in de trek-rek-kromme, indien deze door een voorbehandeling tot verdwijnen was gebracht. De verouderingsverschijnselen moeten worden toegeschreven aan verontreinigingen zoals koolstof en stikstof, die in het metaal aanwezig zijn. Met behulp van de theorie van de zg. dislocaties kan men trachten deze verschijnselen te verklaren (Cottrell). Een moeilijkheid is hierbij dat de opgeloste hoeveelheden koolstof en stikstof in de evenwichtstoestand te gering zijn om de waargenomen effecten te veroorzaken. Men moet dan ook aannemen dat uit geprecipiteerde carbide- en nitridedeeltjes koolstof resp. stikstof weer in oplossing gaat en zich naar de dislocaties beweegt. Experimenten aan nauwkeurig bereide legeringen met alleen koolstof of stikstof als verontreiniging leren, dat koolstof zelfs na veertig uur verwarmen op 50 °C nog geen vervormingsveroudering veroorzaakt, terwijl stikstof reeds na twee uur verwarmen op deze temperatuur het maximale effect geeft. Stikstof heeft blijkbaar een veel grotere invloed op de eigenschappen van ijzer dan koolstof, zoals ook uit experimenten over de blauwbrosheid en de kerfslagwaarde van staal blijkt. Mangaan heeft op het gedrag van stikstof wat betreft de vervormingsveroudering geen invloed, wat zeer merkwaardig is als men in aanmerking neemt dat mangaan wel een grote invloed heeft op de afschrikveroudering.

[10]) Vgl. ook F. R. N. Nabarro, Report of a conference on strength of solids, held at Bristol 1948, blz. 38-45 en G. Masing, Arch. Eisenhüttenwesen **21**, 315-325, 1950.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIFKEN

Van deze publicaties, voorzover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van het Natuurkundig Laboratorium, Kastanjelaan, Eindhoven, op aanvrage overdrukken.

1978*: W. Elenbaas: The high-pressure mercury-vapour discharge, Noordholl. Uitg. Mij., Amsterdam 1951 (XII + 173 blz., 80 fig.).

Samenvatting van een dertigtal publicaties van de schrijver over de kwikontlading bij hoge druk, waarbij tevens rekening is gehouden met de bestaande literatuur op dit gebied (de literatuurlijst omvat 138 No's). Na een korte historische inleiding en beschrijving van de thans gebruikelijke hogedruk kwiklampen wordt een exposé gegeven van de onderstellingen waarop de theorie van deze ontladingen wordt gebaseerd: in elk punt van de ontlading heerst thermodynamisch evenwicht wat betreft aanslag en ionisatie, het in de ontlading verbruikte vermogen is gelijk aan de som van stralings- en warmtegeleidingsverliezen. Verschillende wijzen om de temperatuur van de ontlading te meten worden besproken; uit de differentiaalvergelijking voor de radiale temperatuurverdeling worden gelijkvormigheidswetten afgeleid en er wordt aangegeven hoe de vergelijking grafisch kan worden geïntegreerd. Nu volgt een bespreking van de invloed van een aantal nevenverschijnselen, zoals convectie, uitwendige magneetvelden, toevoeging van edelgassen en van metalen met lagere ionisatiespanning dan kwik. Al deze beschouwingen hebben in hoofdzaak betrekking op ontladingen met een druk in de buurt van 1 atm. Een afzonderlijk hoofdstuk is gewijd aan diverse vormen van kleine kwiklampen met hogere druk en grotere helderheid, al of niet geforceerd gekoeld.

Uitvoerige beschouwingen worden gewijd aan het spectrum van de ontlading en de overgang bij hoge druk van een lijnenspectrum in een spectrum met sterk verbrede lijnen en continue achtergrond. Daarna worden nog enige losstaande onderwerpen besproken, zoals de samenhang tussen druk en potentiaalgradient, de rol der positieve ionen, condities nabij de electroden, de invloed van zelfabsorptie op de intensiteit der spectraallijnen, de questie van de dimensionnering van kwiklampen. Ten slotte wordt het quasi-thermodynamische evenwicht in de ontlading kinetisch bekeken en getracht met behulp van bekende data over aanslag- en ionisatiekansen en bewegelijkheden rekenschap te geven van de experimenteel gevonden resultaten, hetgeen op bevredigende wijze gelukt is, in aanmerking genomen de bestaande onzekerheid in de waarden van de constanten der elementaire processen.

1979: K. F. Niessen: On the condition determining the transition temperature of a superconductor (Physica **17**, 34-42, 1951, No. 1).

De analogie tussen supragеleiding en ferromagnetisme doet vermoeden, dat het door supragеleidende electronen bedekte deel van de Fermi-bol nabij de overgangstemperatuur op soortgelijke wijze van de temperatuur afhangt als de spontane magnetisatie in een ferromagnetisch materiaal nabij het Curie-punt. Dit zou verklaard kunnen worden door aan te nemen, dat de uitbreiding van de supragеleidende laag aanvankelijk even ver buiten op als binnen in de Fermi-bol plaats heeft, wat bij een bepaalde temperatuur oneindig snel gebeuren kan. Bij deze uitbreiding treedt nog geen supragеleiding op. Dit geschiedt pas als de supragеleidende electronen van de onderste helft van de laag zich ook over de Fermi-bol verspreiden, hetgeen energetisch nagegaan wordt. De laag behoeft slechts een kleine uitgebreidheid te hebben verkregen om toch bij het opstijgen een relatief groot effect in de supragеleiding te geven, groter dan wanneer de laag zich direct op de Fermi-bol moest vormen.

1980: H. Bremmer: On the theory of optical images affected by artificial influences in the focal plane (Physica **17**, 63-70, 1951, No. 1).

Optische afbeelding kan worden beïnvloed door tussen voorwerp en beeld door kunstmatige middelen de intensiteit en de faze van de lichtgolven te veranderen (faze-microscoop van Zernike). De in dit artikel ontwikkelde theorie onderstelt dat dit geschiedt in het vlak dat ten opzichte van het optische systeem is toegevoegd aan het vlak van de lichtbron. Aangetoond wordt dat door een geschikte verdeling van de verzwakking en de fazeverandering in dit vlak bijzondere eigenschappen van het voorwerp in het (paraxiale) beeld tot uiting gebracht kunnen worden. In het bijzonder kan het zo worden ingericht dat de intensiteit in het beeld evenredig is met de modulus van de gradient van de doorlating of met de modulus van de gradient van de fazedraaiing in het voorwerp.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!